Deutscher Bundestag
13. Wahlperiode

Drucksache 13/11462

30. 09. 98

Unterrichtung

durch die Bundesregierung

Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 1997

Inhalt

Zugeleitet mit Schreiben des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit vom 29. September 1998 gemäß § 5 Abs. 2 des Strahlenschutzvorsorgegesetzes vom 19. Dezember 1986.

I. Auftrag und Zusammenfassung

1. Auftrag

Das Strahlenschutzvorsorgegesetz vom 19. Dezember 1986 (BGBl. I S. 2610), zuletzt geändert durch Artikel 8 des Gesetzes vom 24. Juni 1994 (BGBl. I S. 1416), sieht die jährliche Berichterstattung durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit an den Deutschen Bundestag und den Bundesrat über die Entwicklung der Radioaktivität in der Umwelt vor. Hiermit wird der Bericht für das Jahr 1997 vorgelegt. Er umfaßt die wichtigsten Informationen und Änderungen im Bereich der Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung gegenüber den Vorjahren. Umfassenderes Datenmaterial wird jeweils in den ausführlichen Jahresberichten über „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung" wiedergegeben.

2. Zusammenfassung

Der Bericht behandelt

- die natürliche Strahlenexposition (Kapitel II)
- die zivilisatorisch veränderte natürliche Strahlenexposition (Kapitel III)
- die zivilisatorische Strahlenexposition (Kapitel IV)
- die Strahlenexposition durch den Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl (Kapitel V).

Die natürliche Strahlenexposition setzt sich aus der kosmischen und der terrestrischen Komponente sowie aus der Exposition durch die Aufnahme natürlich radioaktiver Stoffe in den Körper zusammen. Veränderungen der Umwelt des Menschen durch technische Entwicklungen, die eine unbeabsichtigte Anreicherung natürlich radioaktiver Stoffe zur Folge haben, führen zu einer zivilisatorisch bedingten Erhöhung der Strahlenexposition. Insbesondere Radon in Gebäuden und natürlich radioaktive Stoffe aus Bergbau- und Verarbeitungsprozessen können zur Erhöhung der mittleren Strahlenexposition beitragen. Die bisher durchgeführten Messungen haben ergeben, daß in weniger als 2 % der Wohnungen in Deutschland die Radonkonzentration in der Raumluft über einem Wert von 250 Bq/m^3 liegt; diesen Wert sieht die Strahlenschutzkommission als Obergrenze des Normalbereichs an. Darüberliegende Werte treten überwiegend auf in Gebäuden in Gebieten, die aufgrund der geologischen Beschaffenheit des Untergrundes erhöhte Radonvorkommen aufweisen, insbesondere in Bergbaugebieten.

In den neuen Bundesländern wird gemäß Einigungsvertrag vom 31. August 1990 nach fortgeltendem Recht der ehemaligen DDR die bei bergbaulichen und anderen Tätigkeiten durch Radonfolgeprodukte auftretende berufliche Strahlenexposition überwacht. Die mittlere effektive Jahresdosis des betroffenen Personenkreises betrug im Jahr 1997 3,5 mSv und lag damit weit unter dem gesetzlich festgelegten Dosisgrenzwert von 50 mSv pro Jahr.

Die Beiträge zur zivilisatorischen Strahlenexposition der Bevölkerung resultieren aus dem Betrieb kerntechnischer Anlagen, aus der Anwendung ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe in Medizin, Forschung, Technik und Haushalt sowie aus dem Fall-out von Kernwaffenversuchen in der Atmosphäre und dem Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl im Jahr 1986.

Die mittlere effektive Dosis der Bevölkerung durch die natürliche Strahlenexposition beträgt 2,4 mSv pro Jahr. Bei der zivilisatorischen Strahlenbelastung kann der Dosisbeitrag durch die Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in der Medizin auf etwa 1,5 mSv pro Jahr abgeschätzt werden. Die Beiträge der anderen Strahlenquellen sind sehr gering.

Einzelergebnisse für das gesamte Bundesgebiet im Jahr 1997 lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die effektive Dosis betrug aus natürlichen Strahlenquellen im Mittel ca. 2,4 mSv pro Jahr. Das radioaktive Edelgas Radon und seine kurzlebigen Folgeprodukte lieferten über Inhalation den Hauptbeitrag zur Strahlenexposition natürlichen Ursprungs mit einer durchschnittlichen effektiven Dosis von ca. 1,4 mSv pro Jahr.
- Die effektive Dosis der zivilisatorischen Strahlenexposition lag bei ca. 1,6 mSv pro Einwohner und Jahr. Der größte Beitrag wurde durch die Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in der Medizin, insbesondere durch die Röntgendiagnostik, verursacht. Dieser Schätzwert kann nicht ohne weiteres für Risikoabschätzungen bei der Gesamtbevölkerung herangezogen werden, da sich die medizinisch bedingte Strahlenexposition ungleichmäßig auf die Bevölkerung verteilt.
- Der Beitrag der Strahlenexposition durch Kernkraftwerke und sonstige kerntechnische Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland zur mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung blieb auch im Jahr 1997 deutlich unter 1 % der zivilisatorischen Strahlenexposition. Die Jahresemissionen radioaktiver Stoffe lagen bei allen kerntechnischen Anlagen unterhalb, bei den meisten weit unterhalb der genehmigten Werte.
- Der Beitrag der beruflichen Strahlenexposition hat sich gegenüber dem Vorjahr nicht verändert. Diese Exposition betrifft nur eine sehr kleine Bevölkerungsgruppe. Die Zahl der beruflich strahlenexponierten Personen betrug im Jahr 1997 ca.

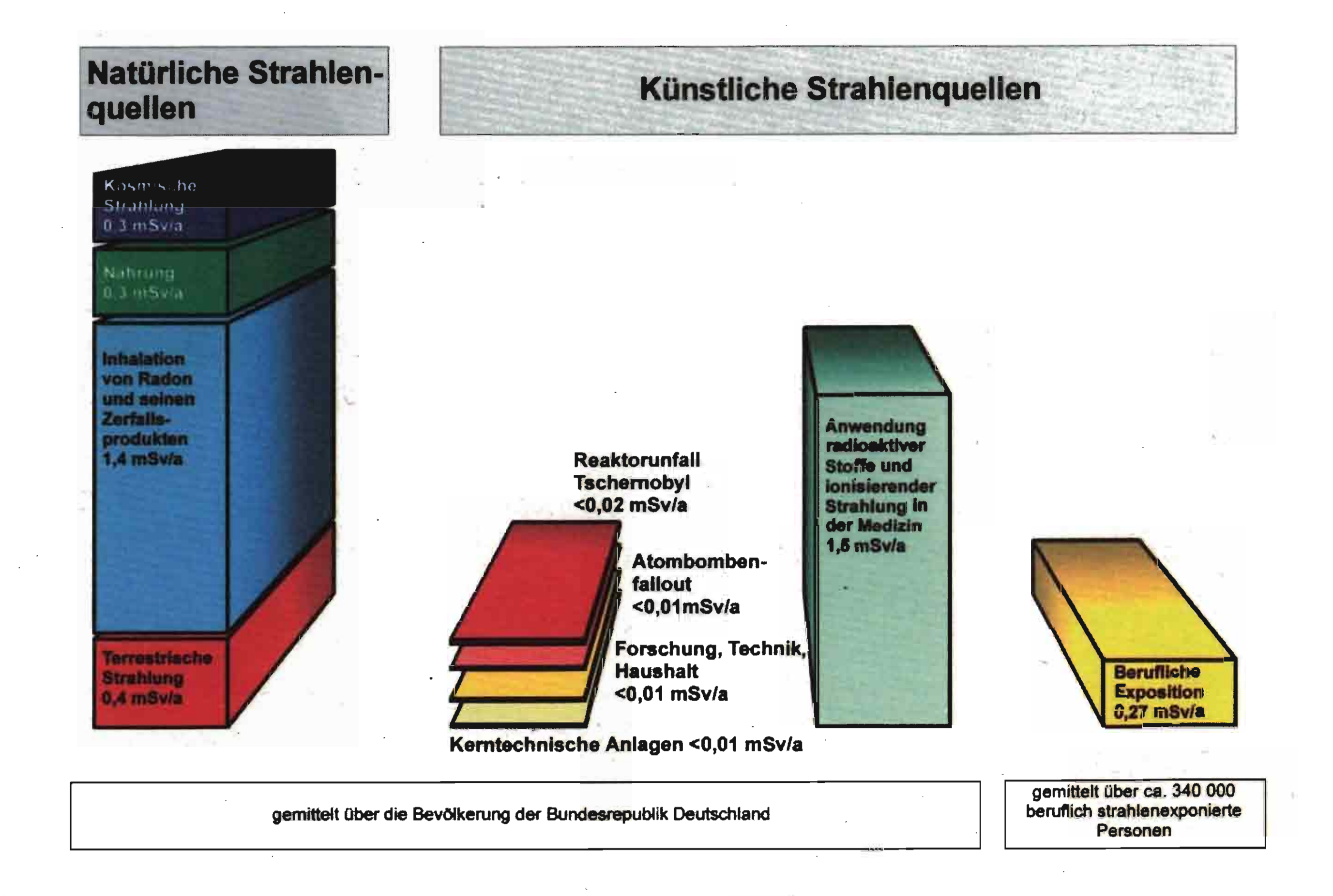
340000. Die mittlere Jahresdosis beläuft sich bei dieser Bevölkerungsgruppe auf 0,24 mSv.

- Die durch den Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl resultierende mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung ging von 0,11 mSv im Jahr 1986 auf weniger als 0,02 mSv zurück.

- Der Beitrag der Strahlenexposition durch die in den vergangenen Jahrzehnten in der Atmosphäre durchgeführten Kernwaffenversuche zur effektiven Dosis ist weiterhin rückläufig und betrug 1997 weniger als 0,01 mSv. Seit 1981 wurden keine Kernwaffenversuche in der Atmosphäre durchgeführt.

Abbildung I.1

Mittlere effektive Jahresdosis durch ionisierende Strahlung im Jahr 1997: ca. 4 mSv



II. Natürliche Strahlenexposition

Durch natürliche Strahlenquellen ist der Mensch einer mittleren effektiven Dosis von 2,4 mSv pro Jahr ausgesetzt. Je nach Höhenlage des Aufenthaltsortes und der geologischen Beschaffenheit des Untergrundes unterliegt die natürliche Strahlenexposition starken Schwankungen.

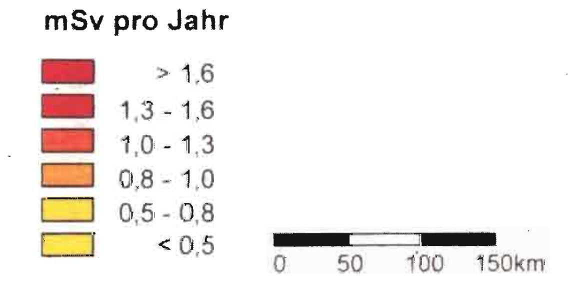
Die natürliche Strahlenexposition setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen, wobei zwischen der äußeren Exposition durch Höhen- und Bodenstrahlung (kosmische und terrestrische Komponente, siehe Anhang Abschnitt B) und der internen Strahlenexposition durch Inkorporation radioaktiver Stoffe über Inhalation und Ingestion unterschieden wird.

Die äußere Strahlenexposition beträgt im Mittel 0,7 mSv pro Jahr und setzt sich etwa zu gleichen Teilen aus der kosmischen und terrestrischen Strahlungskomponente zusammen.

Abbildung II.1 zeigt die ortsabhängige Verteilung der externen Strahlenexposition im Freien in der Bundesrepublik Deutschland.

Abbildung II.1

Schleswig-Holstein
Hamburg
Mecklenburg-Vorpommern
Bremen
Niedersachsen
Brandenburg
Berlin
Sachsen-Anhalt
Nordrhein-Westfalen
Sachsen
Thüringen
Hessen
Rheinland-Pfalz
Saarland
Bayern
Baden-Württemberg



Mittlere externe Strahlenexposition in der Bundesrepublik Deutschland im Freien 1997

Datenquelle: BfS, BZS

Daten aus IMIS

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn

Die kosmische Komponente der Strahlenexposition entsteht im wesentlichen durch Gammastrahlung. Für den Aufenthalt in Meereshöhe wird dafür eine effektive Dosis von 0,24 mSv pro Jahr berechnet. Die durch Neutronen (0,03 mSv pro Jahr) und kosmische Radionuklide (0,01 mSv pro Jahr) verursachten Beiträge zur kosmischen Strahlenexposition sind von untergeordneter Bedeutung.

Die terrestrische Komponente der äußeren Strahlenexposition wird im wesentlichen durch die Gammastrahlung des Kalium-40 sowie durch die Strahlung der Radionuklide aus den natürlichen Zerfallsreihen von Uran-238 und Thorium-232 verursacht. Im Boden liegt der Gehalt an Kalium-40 im Bereich von 40 bis 1 000 Bq pro Kilogramm Trockenmasse (TM). Innerhalb der U-238 Zerfallsreihe spielt das Radium-226 die wichtigste Rolle, der Gehalt im Boden liegt in Deutschland zwischen 10 und 200 Bq je Kilogramm TM. Der Gehalt an Thorium-232 aus der Thorium-Reihe liegt zwischen 8 und 80 Bq pro Kilogramm TM. Die effektive Dosis, verursacht durch terrestrische Strahlung, errechnet sich im Mittel zu 0,41 mSv pro Jahr, wobei die effektive Dosis durch Aufenthalt im Freien 0,07 mSv und in Gebäuden 0,34 mSv beträgt. Dabei nimmt man eine Aufenthaltsdauer von 5 Stunden pro Tag im Freien und 19 Stunden in Gebäuden an. Diese Werte leiten sich von einem Wertebereich für die effektive Jahresdosis bei ständigem Aufenthalt im Freien von 0,06 mSv bis 2,2 mSv (im Mittel 0,33 mSv) bzw. bei ständigem Aufenthalt in Gebäuden von 0,09 mSv bis 2,4 mSv (im Mittel 0,43 mSv) ab. Die höheren Werte findet man zum Teil über Granitmassiven mit einer erhöhten spezifischen Aktivität der Radioisotope von Radium, Thorium und Kalium.

Die interne Strahlenexposition des Menschen aus natürlichen Quellen beträgt im Mittel 1,7 mSv pro Jahr. Allein auf das radioaktive Edelgas Radon und seine Zerfallsprodukte entfallen ca. 1,4 mSv pro Jahr (effektive Dosis durch Aufenthalt im Freien 0,2 mSv; effektive Dosis durch Aufenthalt in Gebäuden 1,2 mSv).

Kalium-40 sowie die Radionuklide der natürlichen Zerfallsreihen von Uran-238 und Thorium-232 werden über Trinkwasser und Nahrung (Ingestion) aufgenommen und rufen eine mittlere effektive Jahresdosis von 0,3 mSv hervor.

III. Zivilisatorisch veränderte natürliche Strahlenexposition

1. Radioaktive Stoffe in Baumaterialien und Industrieprodukten

Zum Schutz der Bevölkerung gegen ionisierende Strahlen werden seit mehr als 20 Jahren in der Bundesrepublik Deutschland Untersuchungen und Bewertungen der Strahlenexposition durch radioaktive Stoffe in Baumaterialien sowie industriellen Rest- und Abfallstoffen durchgeführt. Die spezifische Aktivität natürlicher Radionuklide wurde in mehr als 1 500 Proben bestimmt.

Der Gehalt an Radium-226, Thorium-232 und Kalium-40 in Natursteinen, Baustoffen und Industrieprodukten geht aus Tabelle III.1 hervor. Die spezifische Aktivität natürlicher Radionuklide weist von Material zu Material große Unterschiede auf und zeigt auch innerhalb der Stoffarten eine große Variationsbreite. Unter den Baustoffen natürlichen Ursprungs weisen kieselsäurereiche Magmagesteine, insbesondere Granite, vergleichsweise hohe Gehalte an natürlichen Radionukliden auf. Das durch radioaktiven Zerfall aus Radium-226 entstehende Radon-222 ist aus der Sicht des Strahlenschutzes von besonderem Interesse. In konventionellen Baustoffen in Deutschland liegt nur in Ausnahmefällen eine Radium-226-Konzentration von mehr als 200 Bq/kg vor. Überschreitungen des bis 250 Bq/m^3 reichenden Normalbereiches der Radonkonzentration in Wohnräumen wurden in Verbindung mit der Verwendung von derzeit handelsüblichen Baumaterialien nicht festgestellt.

In einigen Abfällen aus industriellen Verarbeitungsprozessen reichern sich radioaktive Stoffe an, die bei unkritischer Verwendung, z. B. bei ihrem Einsatz als Sekundärrohstoffe im Bauwesen, eine erhöhte Strahlenexposition der Bevölkerung hervorrufen könnten. Deshalb bedürfen diese Materialien einer besonderen Aufmerksamkeit, vor allem unter dem Aspekt der Nutzung von Rohstoffen aus aller Welt. Bei der überwiegenden Menge mineralischer Abfallstoffe, z. B. Gips aus der Rauchgasentschwefelung und Rückständen der Kohleverbrennung, wurden jedoch Werte der spezifischen Aktivität in dem Niveau gemessen, wie sie in konventionellen Baustoffen vorkommen.

In Deutschland wird der Grundsatz vertreten, daß in erster Linie die anfallende Menge industrieller Abfälle minimiert werden soll und in zweiter Linie ihre stoffliche Verwertbarkeit oder der Einsatz zur Energiegewinnung zu prüfen ist. Es ergibt sich deshalb eine steigende Tendenz, Abfälle hinsichtlich ihrer Verwendungsfähigkeit in der Baustoffindustrie zu untersuchen. Um eine erhöhte Strahlenexposition der Bevölkerung zu vermeiden, werden zur Zeit Beschränkungen bei überdurchschnittlich hohen spezifischen Aktivitäten in Baumaterialien innerhalb der EU diskutiert.

Durch die Zusammenarbeit des Deutschen Instituts für Bautechnik mit dem Bundesamt für Strahlenschutz werden bei der Erteilung von Zulassungen für neue Baustoffe, Bauteile und Bauarten im Rahmen einer Umweltverträglichkeitsprüfung die Belange des Strahlenschutzes berücksichtigt.

In den Mitgliedstaaten der Europäischen Union darf ein Bauprodukt nur dann in Verkehr gebracht werden, wenn es unter anderem die wesentlichen Anforderungen an Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz erfüllt.

2. Radon in Wohngebäuden

Tabelle III.2 zeigt eine Übersicht über die Radonkonzentration in Wohnungen in den Bundesländern als zusammengefaßtes Ergebnis von Radonmessungen über die Dauer von mehreren Monaten bis zu einem Jahr.

Es wird davon ausgegangen, daß in schätzungsweise zwischen 1 und 2 % der Häuser Deutschlands der von der Strahlenschutzkommission (SSK) definierte Normalbereich der Konzentration des Radon in Wohnungen überschritten wird. Diese Gebäude konzentrieren sich auf Regionen mit erhöhtem Radonpotential im Untergrund. Aus Gründen der Strahlenschutzvorsorge wird den Gebieten mit gehäuft auftretenden erhöhten Radonkonzentrationen in Häusern besondere Aufmerksamkeit gewidmet.

Bezüglich erhöhter Radonkonzentrationen ist die Radonquelle „Baugrund" besonders wichtig. Ein erhöhtes Radonpotential im Baugrund ist vor allem geologisch bedingt, kann jedoch auch durch Bergbau und bergbauliche Hinterlassenschaften, vor allem in Form von oberflächennahen bergmännischen Auffahrungen, verursacht werden.

Um Häuser mit hohen Radonkonzentrationen aufzufinden und um Neubauten vor erhöhten Konzentrationen des Radons zu schützen, hat die SSK empfohlen, Gebiete mit erhöhtem Radonpotential zu ermitteln. Abbildung III.1 zeigt die regionale Verteilung der Radonkonzentration im geogenen Untergrund, die im Rahmen eines vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit geförderten Forschungsvorhabens ermittelt wurde.

Neben dem Radonpotential im Baugrund hat die Bauweise, die aufgrund der technischen und technologischen Entwicklung in Verbindung mit dem Streben nach komfortablem, energiesparendem und gesundem Wohnen ständigen Veränderungen unterworfen ist, einen wesentlichen Einfluß auf die Radonkonzentration in Häusern. Ergebnisse von Messungen zeigen, daß in Gebäuden, die in den letzten 30 Jahren errichtet worden sind, niedrigere Radonkonzentrationen auftreten als in älteren Gebäuden.

3. Radioaktive Stoffe in der Umwelt als Folge des Bergbaus

3.1 Umgebungsüberwachung an den Sanierungsbetrieben der Wismut GmbH

Die Sanierungsbetriebe der Wismut GmbH ermittelten unter Kontrolle der zuständigen Landesbehörden die Ableitungen radioaktiver Stoffe und die durch die bergbaulichen Tätigkeiten insgesamt verursachte radioaktive Kontamination der Betriebsflächen und des Umlandes.

Für die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Abwettern und Abwässern wurden durch die zuständigen Landesbehörden Genehmigungswerte festgelegt.

Die für das Jahr 1997 ermittelten Werte der Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Abluft bzw. Abwettern und Abwässern zeigen, daß die festgelegten Genehmigungswerte für radioaktive Stoffe eingehalten wurden (Abbildungen III.2 und III.3).

Die aus den übrigen bergbaulichen Anlagen (vor allem industrielle Absetzanlagen, Halden) freigesetzte Radonaktivität wird aus den Radium-226-Konzentrationen der deponierten Materialien unter Zugrundelegung einer abgeleiteten normierten Freisetzungsrate (1 Bq Rn-222 pro m^2 und sec bezogen auf 1 Bq Ra-226 pro g Material) mit einer theoretisch möglichen Radonfreisetzung von $2 \cdot 10^{15}$ Bq pro Jahr abgeschätzt. Diese Abschätzung bezieht sich auf die Situation vor Beginn der Sanierungstätigkeiten; infolge der bereits abgeschlossenen Sanierungsarbeiten hat sich die Radonfreisetzung aber bereits verringert.

Überwachungsmessungen in der Umgebung der Betriebe haben gezeigt, daß durch Ableitung von Uran und Radium-226 mit den Abwässern in den großen Vorflutern der Bergbaugebiete (Elbe, Mulde, Weiße Elster und Pleiße) keine oder nur geringfügige Veränderungen der natürlichen Aktivitätskonzentration dieser Radionuklide verursacht werden. In den unmittelbar durch Ableitungen betroffenen kleineren Zuflüssen zu den o. g. Gewässern tritt aufgrund der geringeren Abflußmenge eine im Vergleich zum natürlichen Pegel deutlich erhöhte Aktivitätskonzentration dieser Radionuklide auf. Das Wasser dieser Gewässer wird jedoch nicht genutzt. Unter der Annahme der Nutzung der großen Vorfluter als Trinkwasser ergibt sich theoretisch eine effektive Jahresdosis von 0,001 bis 0,02 mSv pro Jahr.

Die im Rahmen der Immissionsüberwachung in den Bergbaugebieten ermittelte Aktivitätskonzentration von Radon-222 in der Atemluft im Freien übersteigt häufig die für große Gebiete Mittel- und Norddeutschlands charakteristische Spannweite von 8 bis 23 Bq/m^3. Auf Betriebsflächen und in der unmittelbaren Nähe von Abwetterschächten, industriellen Absetzanlagen und einigen großflächigen Halden wurden insbesondere bei ungünstigen atmosphärischen Bedingungen (z. B. Inversionen in Tallagen) Spitzenwerte bis zu 500 Bq/m^3 Radon-222 festgestellt. Wie durch Messungen und Modellrechnungen nachgewiesen wurde, liegen in geringer Entfernung von diesen Objekten die Werte für die Radonkonzentration bereits wieder in der für das Gebiet typischen Spannweite von 25 bis 80 Bq/m^3. Vergleichbare Werte wurden in bergbaufreien Gebieten im Süden der neuen Bundesländer festgestellt, die ähnliche geologische Verhältnisse wie die Bergbauregionen aufweisen.

Die Messungen des Bundesamtes für Strahlenschutz im Rahmen der großräumigen Langzeitüberwachung der Radonkonzentration in der bodennahen Luft im Freien wurden auch im Jahr 1997 fortgesetzt.

3.2 Altlastenkataster

Nach § 11 Abs. 8 des Strahlenschutzvorsorgegesetzes obliegt dem Bund im Bereich der neuen Bundesländer die Ermittlung der Umweltradioaktivität aus bergbaulicher Tätigkeit in Gegenwart natürlicher radioaktiver Stoffe. Das für diese Aufgabe zuständige Bundesamt für Strahlenschutz führt hierzu seit 1991 das Projekt „Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten (Altlastenkataster)" durch. Mit dem Projekt sollen die bergbaubedingten Hinterlassenschaften (Bergbauobjekte und vom Bergbau beeinflußte Flächen) in Sachsen, Thüringen und Sachsen-Anhalt großräumig erfaßt, radiologisch untersucht und im Hinblick auf mögliche Nutzung bewertet werden. Als Bewertungsgrundlage stehen Empfehlungen der Strahlenschutzkommission (SSK) zur Verfügung.

Das Projekt ist in drei Phasen mit jeweils wachsender Untersuchungstiefe gegliedert. Dieses abgestufte Vorgehen ermöglicht es, radiologisch unbedenkliche Objekte und Flächen mit Hilfe einfacher Bewertungsverfahren frühzeitig zu erkennen und aufwendige Meßprogramme auf radiologisch bedeutende Hinterlassenschaften zu konzentrieren.

Die in den ersten beiden Projektphasen „Altlastenerfassung und Altlastenverifikation" erhobenen und bewerteten Daten wurden 1994 in die für die Ergebnisdokumentation entwickelte Datenbank A.LAS.KA. (Altlastenkataster) aufgenommen. Der Bericht über die Ergebnisse der 2. Projektphase, die in der Datenbank gespeicherten Informationen sowie thematische Übersichtskarten wurden den für den Vollzug des Strahlenschutzes zuständigen Länderbehörden übergeben. Damit verfügten die Vollzugsbehörden bereits über eine wichtige Grundlage zur Bewertung der bergbaubedingten Umweltradioaktivität, die bei Entscheidungen über Notwendigkeit und Inhalt möglicher expositionsverringernder Maßnahmen herangezogen werden kann. Insgesamt ließen diese Untersuchungen bereits erkennen, daß großräumige radioaktive Kontaminationen nicht vorliegen. Bereits in dieser Phase konnten zahlreiche Hinterlassenschaften identifiziert werden, für die keine Sanierungsmaßnahmen erforderlich sind.

Für eine Reihe bergbaubedingter Hinterlassenschaften wurden aber noch weitere Daten benötigt, um eine abschließende Bewertung nach den SSK-Empfehlungen vornehmen zu können. Die hierfür erforderlichen Untersuchungen erfolgten in der 3. Phase des o.g. Projektes. Ziel war die genaue Eingrenzung der Flächen, die bergbaubedingt eine erhöhte Umweltradioaktivität aufweisen, so daß Sanierungsmaßnahmen in Erwägung zu ziehen sind. Die Ausdehnung und Tiefenverteilung radioaktiv kontaminierter Schichten bei diesen Hinterlassenschaften wurden untersucht. Untersuchungen dieser Art wurden bis 1994 an den Standorten Dittrichshütte, Aue/Hakenkrümme und Freital sowie in den Gebieten Gottesberg und Johanngeorgenstadt (Altbergbaugebiete und Uranerzbergbaugebiete) sowie Hettstedt (Abbaugebiet von uranvererztem Kupferschiefer) und 1995 in den Verdachtsflächen Johanngeorgenstadt, Annaberg-Buchholz und Mechelgrün-Zobes (Alt- und Uranerzbergbaugebiete) durchgeführt. Weitere Meßprogramme wurden bis 1997 u.a. in den Gebieten Bärenstein und Marienberg (Alt- und Uranbergbaugebiete), Eisleben-Wimmelburg (Abbaugebiet von uranvererztem Kupferschiefer) sowie im Gebiet Oberrothenbach (Gebiet der Uranerzaufbereitung) und Zwickau (Abbaugebiet von Steinkohle) durchgeführt. Des weiteren wurden Untersuchungsprogramme zur Ermittlung der Radionuklidkonzentrationen von zur Trinkwasserversorgung genutzten Schacht- und Stollenwässern sowie zur Ermittlung des Einflusses des Bergbaus auf die Sedimente und Auenböden von Vorflutern abgeschlossen.

Mit den Meßprogrammen im Jahr 1997, die u.a. in den Gebieten Filzteich, Altenberg und Freiberg (Alt- und Uranbergbaugebiete) sowie im Gebiet Mansfeld-Leimbach (Abbaugebiet von uranvererztem Kupferschiefer) durchgeführt worden sind, wurden die Feldarbeiten des o.g. Projektes abgeschlossen. Damit liegt ein vollständiger Überblick über die bergbaubedingte Umweltradioaktivität in den Verdachtsflächen des Bergbaus vor.

Der Aufbau des Fachinformationssystems zur bergbaubedingten Umweltradioaktivität (FbU) wurde fortgesetzt. Außer den bereits in der Datenbank A.LAS.KA. enthaltenen Informationen enthält das FbU die Daten aller Meßprogramme. Es verfügt über eine Bedienoberfläche, die einen einfachen Umgang mit den Daten ermöglicht. Die Anbindung an ein geographisches Informationssystem ermöglicht eine effektive Aus- und Bewertung der Daten und Informationen. Die Abschlußbewertung der Untersuchungsgebiete ist noch im Gange.

Tabelle III.1

Bandbreite der spezifischen Aktivität natürlicher Radionuklide in Baustoffen und Industrieprodukten in Bq/kg Trockenmasse (TM)

Material	Ra–226 (Bq/kg TM)	Th–232 (Bq/kg TM)	K–40 (Bq/kg TM)
Baustoffe natürlichen Ursprungs			
saure Magmagesteine	30– 500	17– 310	380–4 000
basische Gesteine	< 10– 36	< 10– 37	100– 380
Naturgips, Anhydrit	2– 70	2– 100	7– 200
Kalkstein, Marmor	4– 41	2– 20	< 40– 240
Kies, Sand	1– 39	1– 64	3–1 200
Lehm, Ton	< 16– 90	18– 200	300–2 000
Bims, Tuff, Lava	< 20– 200	25– 300	490–2 000
Finalbaustoffe, Bindemittel			
Ziegel, Klinker	10– 200	12– 200	100–2 000
Beton	7– 92	4– 80	50–1 600
Kalksandstein, Porenbeton	6– 80	1– 60	40– 800
Zement	10– 330	10– 200	< 40– 700
Kalk, Kalkhydrat	13– 60	2– 93	< 20– 600
Sonstige Industrieprodukte, Rohstoffe			
Düngemittel	< 20–1 000	< 20– 30	< 40–8 000
Rohphosphate	10–2 000	< 20– 100	< 40– 900
Steinkohle	< 20– 30	< 20– < 50	7– 700
Braunkohle	1– 51	1– 58	< 4– 220
Koks	20– 30	< 20	40– 80
Industrielle Abfallstoffe			
REA-Gips	< 5– 25	< 5– 20	24– 80
Bergbauabraum	< 30–5 900	27– 100	40–1 200
Braunkohlefilteraschen	4– 200	6– 150	12– 610
Schlacke	8–2 100	6– 340	10–1 000
Hüttenbims	110– 230	24– 62	180– 190
Bauxit, Rotschlamm	< 20– 800	< 50–1 000	1–1 000

Tabelle III.2

Regionale Verteilung der Radonkonzentration in Wohnungen der Bundesrepublik Deutschland

Bundesland	Anzahl Meßwerte	GM in Bq/m³	GS in Bq/m³	% größer 50 Bq/m³	% größer 100 Bq/m³	% größer 250 Bq/m³	% größer 10^3 Bq/m³
Baden-Württemberg	1 698	39	2,1	*33,2*	*8,8*	*1,4*	*0,1*
Bayern	3 411	41	1,9	*34,7*	*7,4*	*0,9*	*>0,1 *)*
Berlin	805	22	1,8	*4,0*	*1,9*	*0,1*	*0*
Brandenburg	254	25	1,6	*5,9*	*0*	*0*	*0*
Bremen	86	29	1,6	*10,5*	*0*	*0*	*0*
Hamburg	432	27	1,9	*13,9*	*2,3*	*0,2*	*0*
Hessen	1 245	39	1,9	*35,0*	*6,6*	*0,6*	*0*
Mecklenburg-Vorpommern	166	39	2,0	*30,7*	*7,8*	*>0 *)*	*0*
Niedersachsen	3 538	34	1,9	*24,2*	*4,6*	*0,4*	*0*
Nordrhein-Westfalen	3 481	34	1,9	*23,4*	*3,1*	*0,3*	*0*
Rheinland-Pfalz	643	52	1,9	*56,1*	*11,2*	*0,9*	*0,2*
Saarland	323	39	1,9	*37,5*	*4,0*	*0,3*	*>0 *)*
Sachsen	451	45	2,0	*34,3*	*12,9*	*>2,2 *)*	*>0,2 *)*
Sachsen-Anhalt	249	33	1,7	*18,5*	*3,6*	*>0 *)*	*0*
Schleswig-Holstein	850	33	2,0	*28,5*	*5,5*	*0,1*	*0*
Thüringen	224	44	1,7	*33,0*	*6,2*	*>0,4 *)*	*>0 *)*

GM = Geometrischer Mittelwert
GS = Geometrische Standardabweichung
*) Basierend auf speziellen Zielstellungen untergeordneter Untersuchungen der Radonkonzentration in Gebäuden und abgeleitet aus Erfahrungen über die regionale Verteilung des Radonpotentials im Untergrund ist davon auszugehen, daß die tatsächlichen relativen Anteile über den im Rahmen von zwei Meßprogrammen ermittelten Ergebnissen liegen, sie sind deshalb mit dem Zeichen „>" versehen worden.

Abbildung III.1

Übersichtskarte des geogenen Radonpotentials in der Bundesrepublik Deutschland

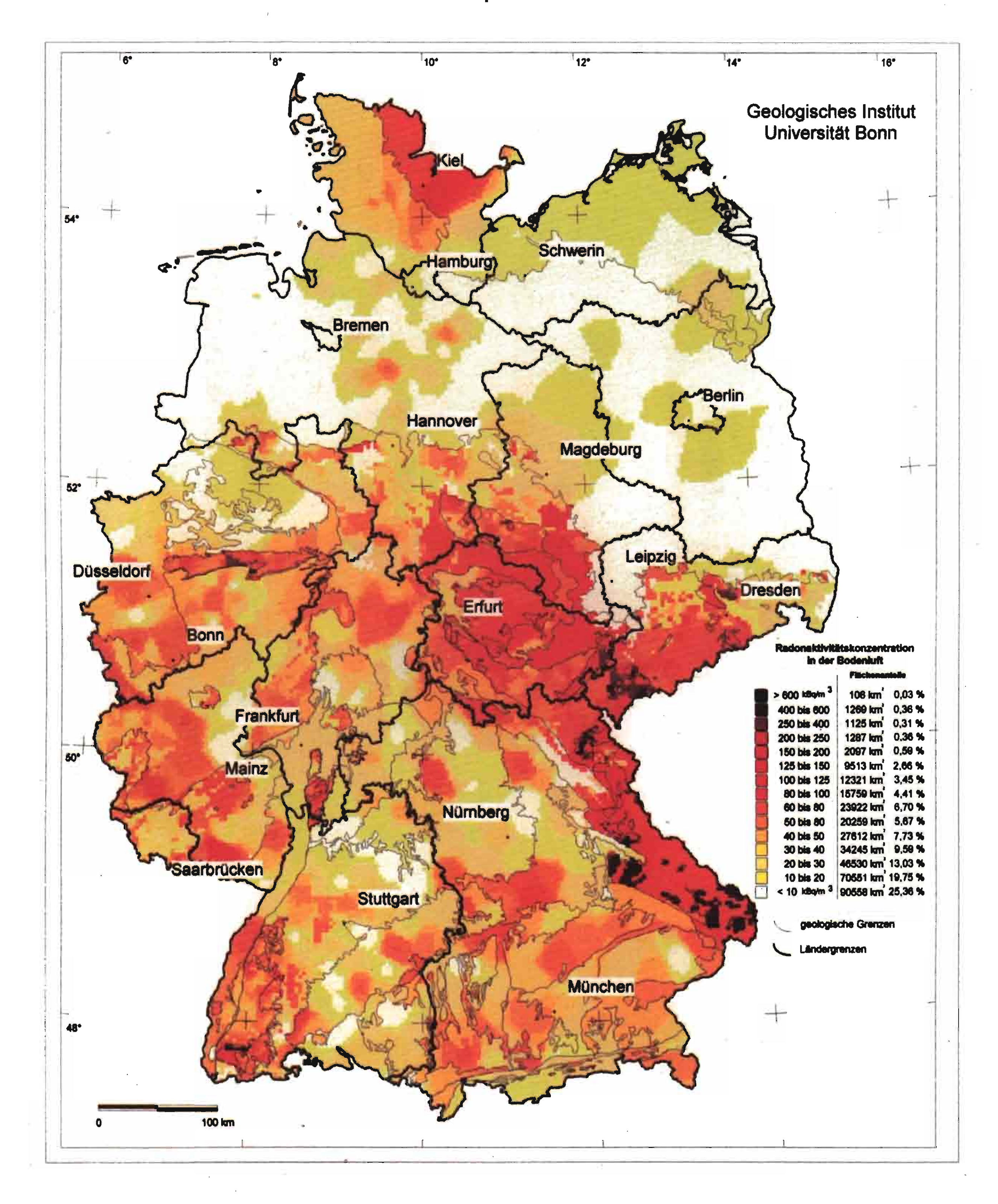
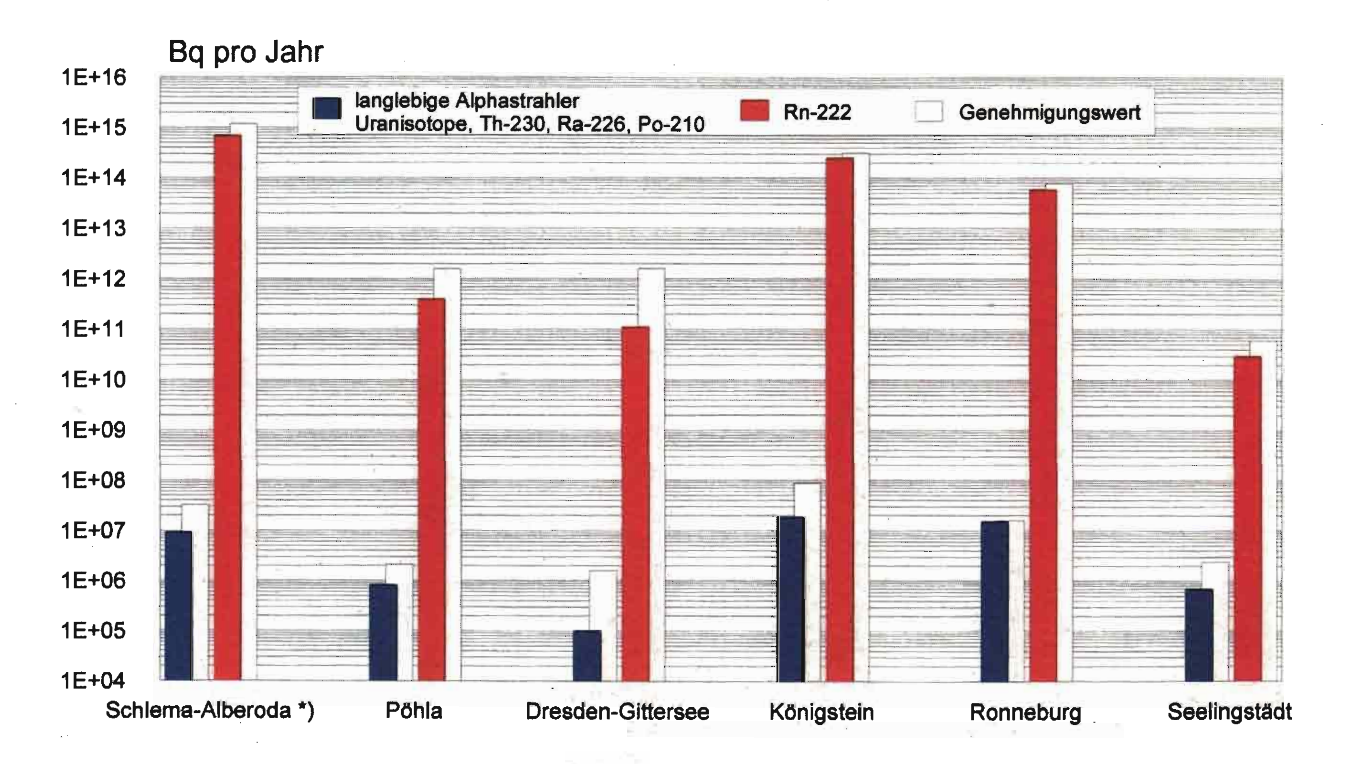
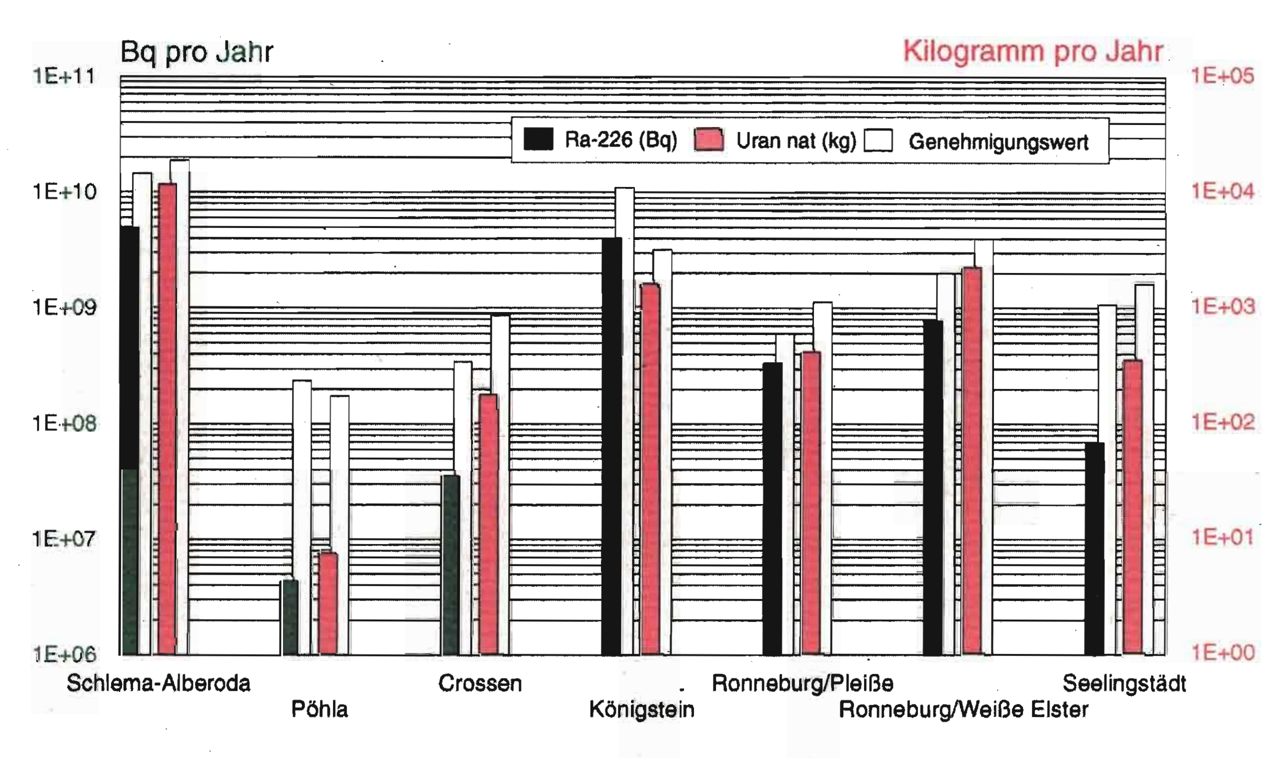


Abbildung III.2



*) Behördlich genehmigte Werte.

Abbildung III.3



Dresden-Gittersee: derzeit keine strahlenschutzrechtlich genehmigungspflichtigen Einleitungen.

IV. Zivilisatorische Strahlenexposition

1. Kerntechnische Anlagen

1.1 Zusammenfassung der Ergebnisse für kerntechnische Anlagen

Aus den für das Jahr 1997 ermittelten Werten für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit Abluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen geht hervor, daß die von den zuständigen Behörden festgelegten Höchstwerte für die jährlichen Emissionen in allen Fällen eingehalten wurden. Die tatsächlichen jährlichen Ableitungen liegen im allgemeinen deutlich unter den Genehmigungswerten, wie beispielsweise für Kernkraftwerke der Vergleich zwischen den Werten der Abbildungen IV.1 bzw. IV.2 und üblichen Genehmigungswerten von ca. 10^{15} Bq für Edelgase, ca. $3 \cdot 10^{10}$ Bq für Aerosole und ca. 10^{10} Bq für Jod-131 zeigt.

Die für 1997 aus den Jahresableitungen nach der „Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung" für eine Referenzperson berechneten Werte der Strahlenexposition haben die in der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) festgelegten Dosisgrenzwerte unterschritten und betragen in der Regel bei der effektiven Dosis und bei den einzelnen Organdosen weniger als 10 % des jeweiligen Dosisgrenzwertes. Damit sind die oberen Werte der Strahlenexposition durch Ableitungen radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen deutlich kleiner als die Schwankungsbreite der natürlichen Strahlenexposition in der Bundesrepublik Deutschland.

Der Beitrag der kerntechnischen Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland sowie im angrenzenden Ausland zur mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland lag auch 1997 deutlich unter 0,01 mSv pro Jahr und ist damit für das Strahlenrisiko ohne Bedeutung.

1.2 Jahresableitungen radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen

Die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Abluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen werden nach der „Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen" von den Betreibern der einzelnen Anlagen ermittelt und an die zuständigen Aufsichtsbehörden berichtet. Einzelheiten über Umfang der Messungen, Meßverfahren, Probeentnahme, Instrumentierung und Dokumentation der Meßergebnisse sind in Regeln des Kerntechnischen Ausschusses festgelegt. Die von den Betreibern der Anlagen vorzunehmenden Messungen werden durch Kontrollmessungen behördlich beauftragter Sachverständiger entsprechend der Richtlinie über die „Kontrolle der Eigenüberwachung radioaktiver Emissionen aus Kernkraftwerken" überprüft.

Die für 1997 ermittelten Jahresableitungen radioaktiver Stoffe mit Abluft und Abwasser von Kernkraftwerken sind in den Abbildungen IV.1 bis IV.3 angegeben und nach Nuklidgruppen aufgeschlüsselt. Sie liegen in der Größenordnung der Ableitungen der Vorjahre und unterschreiten deutlich die entsprechenden Genehmigungswerte. In Abbildung IV.4 sind die Daten über die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus den Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht und dem Hahn-Meitner-Institut in Berlin für das Jahr 1997 zusammengefaßt. Die Ableitungen radioaktiver Stoffe aus den übrigen Forschungsreaktoren betragen im Mittel nur einige Prozent der Ableitungen von Kernkraftwerken. In Abbildung IV.5 sind die entsprechenden Abwasserdaten im Jahr 1997 zusammengestellt. Abbildung IV.6 enthält Angaben über die Ableitung radioaktiver Stoffe mit Abluft und Abwasser aus kernbrennstoffverarbeitenden Betrieben.

Im benachbarten Ausland waren Ende 1997 in Grenznähe, d.h. bis zu einer Entfernung von 30 km zur deutschen Grenze, die in Tabelle IV.1 aufgeführten kerntechnischen Anlagen in Betrieb. Das Kernkraftwerk Mühleberg wurde trotz der größeren Entfernung zur deutschen Grenze mitberücksichtigt, weil es im Einzugsgebiet des Rheins liegt. Über die Jahresemissionen kerntechnischer Anlagen in EU-Ländern berichtet die Kommission der Europäischen Union. Die Ableitungen der schweizerischen Anlagen werden in den jährlichen Berichten „Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz" des Bundesamtes für Gesundheit veröffentlicht.

1.3 Berechnete obere Werte der Strahlenexposition in der Umgebung kerntechnischer Anlagen

Aus den Ergebnissen der Emissionsüberwachung wird die Strahlenexposition der Bevölkerung in der Umgebung der kerntechnischen Anlagen für die in der Strahlenschutzverordnung definierte Referenzperson nach dem Verfahren ermittelt, das in der „Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung: Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen" festgelegt ist. Die in den Abbildungen IV.7 bis IV.10 angegebenen Expositionswerte stellen obere Werte dar, die gemäß § 45 Abs. 2 StrlSchV für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen ermittelt wurden. Die ungünstigsten Einwirkungsstellen sind die Stellen in der Umgebung einer Anlage, bei denen aufgrund der Verteilung der abgeleiteten radioaktiven Stoffe in der Umgebung durch Aufenthalt oder durch Verzehr dort erzeugter Lebensmittel die höchste Strahlenexposition der Referenzperson zu erwarten ist. Bei der Berechnung dieser Werte wurden die in Anlage XI StrlSchV genannten Expositionspfade und die Lebensgewohnheiten der Referenzperson be-

rücksichtigt, die ungünstige Ernährungsgewohnheiten und Aufenthaltszeiten beinhalten.

Die Ergebnisse der Berechnung der Strahlenexposition der Bevölkerung im Jahr 1997 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Abluft enthält Abbildung IV.7. Angegeben ist die effektive Dosis für Erwachsene und Kleinkinder sowie die Schilddrüsendosis für Kleinkinder über sämtliche relevanten Expositionspfade: Gammastrahlung aus der Abluftfahne (Gammasubmersion), Gammastrahlung am Boden abgelagerter radioaktiver Stoffe, Inhalation und Ingestion. Abbildung IV.7 zeigt als größten Wert der effektiven Dosis für Erwachsene 0,004 mSv (rund 1 % des Dosisgrenzwertes nach Strahlenschutzverordnung) und für Kleinkinder 0,007 mSv (rund 2 % des Dosisgrenzwertes) beim Kernkraftwerk Philippsburg. Der größte Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 0,007 mSv (rund 1 % des Dosisgrenzwertes) ebenfalls beim Kernkraftwerk Philippsburg.

In Abbildung IV.8 sind die aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken resultierenden oberen Werte der effektiven Dosis für Erwachsene und Kleinkinder zusammengestellt. Hierbei wurden ebenfalls ungünstige Verzehrs- und Lebensgewohnheiten angenommen, insbesondere für Erwachsene ein hoher Konsum an Flußfisch, der in der Kühlwasserfahne gefangen wurde, und für beide Personengruppen der Aufenthalt von 1000 Stunden am Flußufer oder auf Wiesen in Flußnähe. Der größte Wert der effektiven Dosis beträgt 0,0006 mSv (entsprechend 0,2 % des Grenzwertes) beim Standort der Kernkraftwerke Emsland, Neckar 1 und 2.

Entsprechend der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung wurde die Strahlenexposition am Unterlauf der Flüsse näher betrachtet, wobei jeweils sämtliche Emittenten berücksichtigt wurden. Die höchste effektive Dosis wurde mit etwa 0,002 mSv für Erwachsene und Kleinkinder im Mündungsgebiet des Neckars ermittelt; am Unterlauf der Weser wurden für Erwachsene 0,0004 mSv und für Kleinkinder 0,0005 mSv berechnet. An Rhein und Main liegen die effektiven Dosen bei 0,0002 mSv, an der Donau bei 0,0004 mSv. Zu den höheren Werten trägt vor allem die äußere Bestrahlung auf Überschwemmungsgebieten bei, die im wesentlichen durch Ablagerungen in früheren Jahren bedingt ist.

Die in Abbildung IV.9 angegebenen Werte für die entsprechenden Strahlenexpositionen durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus Forschungszentren stammen aus den Jahresberichten und aus zusätzlichen Angaben der Strahlenschutzabteilungen der Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht und dem Hahn-Meitner-Institut in Berlin. Die Abbildung weist für die effektive Dosis im Jahr 1997 als höchsten Wert 0,0015 mSv (0,5 % des Grenzwertes) für Erwachsene und 0,0024 mSv (0,8 % des Grenzwertes) für Kleinkinder beim Forschungszentrum Jülich auf. Der höchste Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 0,007 mSv (rund 1 % des Grenzwertes) ebenfalls beim Forschungszentrum Jülich.

Für die Strahlenexposition über das Abwasser aus Kernforschungszentren ergibt die Abschätzung aufgrund von Meßwerten, die bei radiologischen Untersuchungen ermittelt wurden, einen oberen Wert von 0,02 mSv pro Jahr. Nach Angaben aus den Jahresberichten der Forschungszentren Karlsruhe, Rossendorf und Jülich liegen die oberen Werte für die effektive Dosis für diese Forschungszentren im Jahr 1997 bei 0,012 mSv, 0,0033 mSv bzw. 0,003 mSv.

Für die kernbrennstoffverarbeitenden Betriebe in Hanau, Karlstein, Lingen und Gronau sind in Abbildung IV.10 die für die ungünstigste Einwirkungsstelle berechneten oberen Werte der effektiven Dosis für Erwachsene und Kleinkinder sowie die oberen Werte der Lungendosis für Kleinkinder durch die Emissionen radioaktiver Stoffe mit der Abluft angegeben. Der höchste Wert der effektiven Dosis beträgt für Erwachsene und Kleinkinder 0,0003 mSv (0,1 % des Grenzwertes), der höchste Wert der Lungendosis 0,0008 mSv für Kleinkinder (rund 0,1 % des Grenzwertes).

Die durch die Ableitung von Alphastrahlern mit dem Abwasser (Abbildung IV.6) bedingten Werte der effektiven Dosis von Erwachsenen und Kleinkindern in der Umgebung aller kernbrennstoffverarbeitenden Betriebe liegen wie auch im Vorjahr bei jeweils weniger als 0,0001 mSv.

Die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft und dem Abwasser aus dem Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) ist in Tabelle IV.4 aufgeführt. Der durch die Ableitung radioaktiver Stoffe im Jahr 1997 mit der Abluft ermittelte Wert der effektiven Dosis für den Erwachsenen betrug 0,0004 mSv, für Kleinkinder 0,0006 mSv; dies sind 0,1 % bzw. 0,2 % des Grenzwertes nach der Strahlenschutzverordnung. Die Lungendosis errechnete sich zu 0,0018 mSv für Erwachsene und 0,0035 mSv für Kleinkinder (ca. 0,2 % bzw. 0,4 % des Grenzwertes). Der durch die Ableitung radioaktiver Stoffe im Jahr 1997 mit dem Abwasser ermittelte Wert der effektiven Dosis liegt unterhalb von 0,0001 mSv für Erwachsene und Kleinkinder.

Bei den Kernbrennstoff-Zwischenlagern Ahaus und Gorleben sowie bei Faßlagern wie z. B. Gorleben, Mitterteich oder Faßlagern innerhalb kerntechnischer Anlagen treten im Normalbetrieb keine nennenswerten Emissionen radioaktiver Stoffe auf; daher ist die hieraus resultierende Strahlenexposition der Bevölkerung vernachlässigbar gering. Meßbar ist im allgemeinen nur die Gammadosisleistung in unmittelbarer Nähe dieser Anlagen. Bei Zwischenlagern wie z. B. Abklingbecken für Brennelemente oder Anlagen zur Abfallkonditionierung, die sich innerhalb von Kernkraftwerken, Kernforschungszentren und sonstigen kerntechnischen Betrieben befinden und in deren Fortluftführung bzw. Abluftplan und ggf. Abwasserbehandlung einbezogen sind, werden die Emissionen in den bilanzierten Ableitungen des jeweiligen Standortes erfaßt und bei der Ermittlung der Strahlenexposition der Bevölkerung berücksichtigt.

Der Betrieb kerntechnischer Anlagen in Nachbarländern (Tabelle IV.1) führte 1997 unter Anwendung der

Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 45 Strahlenschutzverordnung auf Bundesgebiet zu oberen Werten der effektiven Dosis bis zu 0,005 mSv. Für die Schilddrüsendosis eines Kleinkindes über sämtliche relevanten Expositionspfade errechnen sich obere Werte bis zu 0,007 mSv pro Jahr; den größten Beitrag zur Schilddrüsendosis liefert der Weide-Kuh-Milch-Pfad. Bei den im Rahmen der Umgebungsüberwachung durchgeführten Messungen des Radiojodgehaltes von Milchproben aus grenznahen Weidegebieten wurde im Berichtszeitraum Jod-131 in Milch nicht nachgewiesen.

2. Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in der Medizin

Die medizinische Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen einschließlich der Röntgendiagnostik hat in der Bundesrepublik Deutschland einen hohen Stand erreicht. In Anwendung der Strahlenschutzgrundsätze der Strahlenschutzverordnung und der Vorschriften der Röntgenverordnung ist die durch ärztliche Untersuchungen bedingte Strahlenexposition soweit einzuschränken, wie dies mit den Erfordernissen der medizinischen Wissenschaft zu vereinbaren ist. Es ist in jedem Fall zu prüfen, ob nicht Untersuchungen ohne Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlen oder z. B. Verfahren mit radioaktiven Stoffen ohne Anwendung am Menschen (In-vitro-Verfahren) den gewünschten medizinischen Effekt erfüllen. Die Mehrzahl der Untersuchungsverfahren ist mit niedriger Strahlenexposition verbunden. Einige neue Verfahren wie z.B. die Computertomographie und interventionelle Radiologie, die einen erheblichen diagnostischen Fortschritt erbracht haben, sind jedoch mit einer höheren Strahlenexposition verbunden. Gleichwohl wird die Bundesregierung am Ziel festhalten, die Strahlenbelastung der Patienten weiter zu verringern. Die Strahlenschutzkommission beurteilt neue Methoden im Hinblick auf den Strahlenschutz.

Bei der Bewertung der Strahlenexposition durch Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in der Medizin ist zu berücksichtigen, daß ein daraus resultierendes Risiko gegenüber dem Nutzen der Anwendung für den Patienten in den Hintergrund tritt. Das Risiko einer nicht oder nicht rechtzeitig erkannten Krankheit kann wesentlich höher sein als das Strahlenrisiko durch eine notwendige Röntgenuntersuchung. Dies gilt in noch höherem Maße für strahlenintensive Maßnahmen wie z. B. interventionelle Radiologie, denn dadurch können Operationen mit wesentlich höheren Risiken vermieden werden. Die medizinisch bedingte Strahlenexposition ist ungleichmäßig auf die Bevölkerung verteilt, da ältere Personen wesentlich stärker betroffen sind als jüngere. Es ist deshalb nicht zulässig, ein mittleres Strahlenrisiko für die Bevölkerung abzuleiten. Besonders viele und z. T. auch dosisintensive Anwendungen werden gerade bei Schwer- und Schwerstkranken notwendig. Es ist daher falsch, wenn der aus diesen Untersuchungen resultierende Anteil an der kollektiven Dosis in Risikoabschätzungen zur strahlenbedingten Krebsmortalität einbezogen wird, ohne daß alters- und geschlechtsspezifische Risikofaktoren und die Krankheit berücksichtigt werden. Grundlage für eine genauere Abschätzung des Strahlenrisikos muß die Ermittlung der Individual- und Altersverteilung der Patienten sein, die aus Gründen des Datenschutzes nur mit großen Schwierigkeiten und Ungenauigkeiten möglich ist, da sie eine Einsichtnahme in personenbezogene Krankenakten erfordert. Zusätzlich erforderlich ist die Verwendung alters- und geschlechtsspezifischer Risikofaktoren. Aus einer durch das Bundesamt für Strahlenschutz erhobenen repräsentativen Stichprobe aus Akutkrankenhäusern liegen Daten über die Altersverteilung stationärer Patienten von sieben Untersuchungsarten der Röntgendiagnostik vor, die zusammen etwa 86 % der kollektiven effektiven Dosis der stationären Röntgendiagnostik ausmachen. Die Patienten jeder Untersuchungsart werden in Anlehnung an UNSCEAR in vier Altersklassen eingeteilt. Für diese Altersklassen wurden aus den zusätzlichen Lebenszeitrisiken nach ICRP 60 mittlere Risikokoeffizienten ermittelt. Die relativen Risiken dieser vier Altersgruppen stellen sich wie folgt dar:

Altersgruppe	Relatives Risiko
<16 Jahre	2,4
16–40 Jahre	1,25
41–65 Jahre	0,44
>65 Jahre	0,19

Bei vorsichtiger Abschätzung der o. g. Einflußgrößen ergibt sich ein Reduktionsfaktor von mindestens 0,6 bis 0,7, um aus der mittleren Exposition das mit der Exposition verbundene reale Strahlenrisiko zu ermitteln. Ein im Rahmen der Genauigkeit repräsentativer Wert der mittleren Exposition liegt derzeit bei 1,5 mSv pro Jahr und Person.

Aus Erhebungen über die Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen durch das Bundesamt für Strahlenschutz ergeben sich die in Tabelle IV.3 dargestellten Untersuchungsfrequenzen für Deutschland im Jahr 1994. Mittlere Werte der effektiven Dosis häufiger Röntgenuntersuchungen sind in Abbildung IV.15 dargestellt. Es handelt sich dabei um Dosen, wie sie bei Patienten in Krankenhäusern und Arztpraxen ermittelt wurden.

Es ist davon auszugehen, daß die Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen weiter geringfügig zunimmt, insbesondere bei Aufnahmen des Skeletts. Bei Röntgenuntersuchungen des Magen-Darm-Kanals ist ein erheblicher Rückgang zugunsten der Magen-Darm-Spiegelung festzustellen. Röntgenuntersuchungen des Harntrakts sowie von Leber und Galle werden in großem Umfang durch Ultraschalluntersuchungen ersetzt. Dagegen zeigen die modernen Verfahren der Bildgebung, die Computertomographie, die digitale Subtraktionsangiographie und die interventionelle Radiologie eine starke Zunahme. Letztere werden vorwiegend bei älteren Personen durchgeführt, wodurch sich das Langzeitstrahlenrisiko bezüglich der Tumorentstehung vermindert. Bei der Strahlenexposition des einzelnen untersuch-

ten Patienten kann ein Rückgang je Untersuchung angenommen werden, der auf die Einführung dosissparender Untersuchungstechniken, z. B. durch den Einsatz von empfindlicheren Röntgenbildverstärkern und verbesserten Film-Folien-Systemen, zurückzuführen ist. Eine erhebliche Dosisreduzierung bei der Durchleuchtung ist durch die Anwendung der gepulsten Durchleuchtung möglich.

Die Nuklearmedizin liefert im Vergleich zur Röntgendiagnostik wegen der niedrigeren Anwendungshäufigkeit und der zum Teil niedrigen effektiven Dosis je Untersuchung einen wesentlich geringeren Beitrag zur Strahlenexposition der Bevölkerung. Er liegt etwa bei einem Zehntel des Betrages der durch die Röntgendiagnostik verursachten Strahlenexposition (ausgedrückt als mittlere effektive Dosis).

3. Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in Forschung, Technik und Haushalt

3.1 Industrieerzeugnisse und technische Strahlenquellen

Bestimmte Industrieerzeugnisse wie z. B. wissenschaftliche Instrumente, elektronische Bauteile, Leuchtstoffröhren, Rauch- und Feuermelder, Gasglühstrümpfe, Schweißelektroden und keramische Gegenstände enthalten radioaktive Stoffe verschiedener Art und Aktivität. Der Umgang mit diesen Erzeugnissen wird durch ein differenziertes Anzeige- und Genehmigungssystem geregelt, das auch einen genehmigungsfreien Umgang, z. B. nach einer Bauartzulassung oder bei Unterschreiten festgelegter Aktivitätswerte, vorsieht.

Bei einigen technischen Prozessen werden Strahlenquellen zur Messung und Steuerung (z. B. Füllstand-, Dicke- und Dichtemessung) oder zur Qualitätskontrolle bei der zerstörungsfreien Materialprüfung eingesetzt. Der Umgang mit diesen technischen Strahlenquellen bedarf in der Regel der Genehmigung (Anzeigepflicht bei geringer Radioaktivität oder bei bauartzugelassenen Geräten).

Die Strahlenschutzverordnung regelt den Umgang mit diesen Industrieerzeugnissen und die Röntgenverordnung den Einsatz von Röntgengeräten, um – neben den Arbeitnehmern – die Bevölkerung vor unnötiger Strahlenexposition zu schützen. Die mittlere effektive Dosis der Bevölkerung, die aus der Anwendung der entsprechenden radioaktiven Stoffe resultiert, liegt unter 0,01 mSv pro Jahr.

3.2 Störstrahler

Störstrahler sind Geräte oder Einrichtungen, die Röntgenstrahlen erzeugen, ohne daß sie zu diesem Zweck betrieben werden (z. B. Elektronenmikroskope und Hochspannungsgleichrichter); sie unterliegen einer Genehmigungspflicht, sofern eine Bauartzulassung nicht vorliegt. Zu den Störstrahlern gehören auch Kathodenstrahlröhren in Bildschirmgeräten, wie z. B. Fernsehgeräten. Die Grenzwerte der Ortsdosisleistung der Störstrahler werden in der Röntgenverordnung geregelt.

Der Beitrag von Störstrahlern zur Strahlenexposition der Bevölkerung führt zu einer effektiven Dosis von weniger als 0,01 mSv pro Jahr.

4. Berufliche Tätigkeit

4.1 Personendosisüberwachung

Alle beruflich strahlenexponierten Personen, bei denen die Möglichkeit einer erhöhten Strahlenexposition von außen besteht, werden mit Personendosimetern überwacht, die von den sechs zuständigen amtlichen Personendosismeßstellen ausgegeben und ausgewertet werden. Die Zahl der überwachten Personen betrug im Berichtsjahr insgesamt 337 631, davon im Bereich Medizin 241 988. Abbildung IV.11 zeigt den Verlauf seit 1981 für die alten und ab 1990 einschließlich der neuen Bundesländer.

Die nachstehenden Dosisangaben beziehen sich auf Photonenstrahlen, da diese in nahezu allen Kontrollbereichen die Dosis bestimmen. Dosisbeiträge durch Neutronen- und Betastrahlen sind nur in wenigen Fällen von Bedeutung. Die mittlere Jahres-Personendosis aller Überwachten betrug 0,24 mSv. Bei der Beurteilung dieses Mittelwertes ist jedoch zu beachten, daß bei dem größten Teil aller Überwachten (85 %) während des ganzen Jahres die untere Meßbereichsgrenze des Personendosimeters von 0,2 mSv nicht überschritten wird, was im Bereich Medizin auf 90 %, in den nicht medizinischen Bereichen auf 75 % der Überwachten zutrifft. Bei den verbleibenden Personen ergibt sich eine mittlere Jahres-Personendosis von 1,69 mSv.

Die Summe der Jahresdosiswerte aller Überwachten (Kollektivdosis) im Jahr 1997 betrug 82 Personen-Sv.

Die Beiträge typischer Tätigkeitszweige zur Kollektivdosis zeigt die Abbildung IV.12. Einige Angaben über die berufliche Strahlenexposition in Leistungskernkraftwerken sind in den Abbildungen IV.13 und IV.14 enthalten.

4.2 Inkorporationsüberwachung

Beruflich strahlenexponierte Personen, bei denen während ihrer Tätigkeit eine Aktivitätszufuhr oberhalb 10 % der Grenzwerte der Jahresaktivitätszufuhr nicht ausgeschlossen werden kann, werden in der Regel durch Aktivitätsmessungen in Ganz- und Teilkörperzahlen bzw. durch Analysen ihrer Ausscheidungen überwacht. Nach den Erkenntnissen der zuständigen Aufsichtsbehörden der Länder werden bei diesen Inkorporationsmessungen nur geringfügige beruflich bedingte Körpergehalte radioaktiver Stoffe ermittelt – ausgenommen in Fällen besonderer Vorkommnisse (siehe IV.5).

4.3 Berufliche Strahlenexposition durch Radonfolgeprodukte in den neuen Bundesländern

In den neuen Bundesländern wird gemäß Einigungsvertrag vom 31. August 1990 nach fortgeltendem Recht der DDR die Strahlenexposition durch Inhala-

tion kurzlebiger Radonzerfallsprodukte im Bergbau und bei anderen Tätigkeiten, die nicht Umgang mit radioaktiven Stoffen oder Anwendung ionisierender Strahlung gemäß Strahlenschutzverordnung sind, überwacht. 1997 wurde diese Überwachung bei etwa 2 700 Personen vorgenommen, von denen 80% Sanierungsarbeiten in den Betrieben der Wismut GmbH ausführten.

Mehr als ein Drittel der Beschäftigten der Wismut GmbH wurde 1997 mit personengebundenen Geräten (am Körper getragene spezielle Meßgeräte mit akkumulatorgetriebener Probenahmepumpe, Filter, Kernspur- und Thermolumineszenzdetektoren) zur Messung der Strahlenexposition überwacht. Für alle anderen überwachten Personen werden die Strahlenexpositionen entweder für vergleichbare Tätigkeiten am gleichen Arbeitsplatz von den individuell ermittelten Expositionen abgeleitet (Wismut GmbH) oder durch repräsentative Konzentrationsmessungen an den Arbeitsplätzen und Ermittlung der entsprechenden unterschiedlichen Aufenthaltszeiten bestimmt.

Die Kollektivdosis der überwachten beruflich durch Radonzerfallsprodukte strahlenexponierten Personen betrug 1997 einschließlich der Exposition durch langlebige Alphastrahler und äußere Bestrahlung ca. 9,5 Personen-Sv. Bei Berechnung der Dosis gemäß ICRP-65 (s. Anhang) würden sich für die Kollektivdosis lediglich 6,0 Personen-Sv ergeben. Im nachfolgenden Text werden die auf dieser Grundlage berechneten Dosisangaben in Klammern gesetzt. 7,5 Personen-Sv (5,0 Personen-Sv) entfielen auf die Beschäftigten der Wismut GmbH. Bei diesen wurden auch die Expositionen durch langlebige Alphastrahler und durch externe Strahlung meßtechnisch erfaßt. Bei den Beschäftigten in den Nichturanbergbaubetrieben und in den sonstigen überwachten Einrichtungen mit Expositionen durch Radonzerfallsprodukte liefern diese Komponenten im allgemeinen nur einen vernachlässigbaren Beitrag, der pauschal mit insgesamt 10% der ermittelten Dosis berücksichtigt wurde.

Die mittlere effektive Jahresdosis aller durch Radonzerfallsprodukte beruflich exponierten Überwachten betrug 3,5 mSv (2,2 mSv). Sie lag damit weit unter dem Dosisgrenzwert für beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie A von 50 mSv pro Jahr. Die höchste mittlere effektive Jahresdosis erhielten die Beschäftigten in einer wissenschaftlichen Einrichtung und in einem Radiumbad mit 6,0 mSv (3,0 mSv), gefolgt von den Beschäftigten in Wasserbetrieben mit 4,2 mSv (2,1 mSv), bei Förderung und Sanierung im Nichturanbergbau mit 4,0 mSv (2,0 mSv), in Schauhöhlen und Schaubergwerken mit 3,8 mSv (1,9 mSv), in der Wismut GmbH mit 3,7 mSv (2,3 mSv) und in Bergsicherungsbetrieben mit 2,4 mSv (1,2 mSv). In Schachtbaubetrieben gab es 1997 keine überwachten Arbeitsplätze mit Expositionen durch kurzlebige Radonzerfallsprodukte. Die insgesamt 63 Beschäftigten (2,3%) mit einer jährlichen effektiven Dosis von mehr als 15 mSv (Grenzwert für beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie B) lieferten einen Beitrag von 12,5% zur Kollektivdosis. Nach ICRP-65 würden lediglich 7 Personen (0,25%) eine Dosis größer als 15 mSv erhalten und damit einen Beitrag von 1,9% zur Kollektivdosis liefern.

Im Jahr 1997 gab es keine Grenzwertüberschreitungen bei den durch Radonzerfallsprodukte beruflich exponierten Überwachten. Die höchste individuelle effektive Dosis betrug 33 mSv (16,5 mSv).

4.4 Strahlenexposition des Flugpersonals

Die Höhe der Strahlenexposition wird maßgeblich durch Flughöhe, Flugdauer und die geomagnetische Breite bestimmt. Der Strahlenpegel ist im Bereich des Äquators am niedrigsten und steigt mit zunehmender geomagnetischer Breite an. So liegt die Äquivalent-Dosisleistung bei Flügen in einer Höhe von etwa 10 bis 12 km bei geomagnetischen Breiten vom Äquator bis zu 70° Nord im Bereich von 0,002 mSv/h bis 0,009 mSv/h. Bei Annahme einer über Reiseflughöhen und -routen nördlich 50° Nord gewichteten Äquivalent-Dosisleistung von 0,006 mSv/h und einer Flugzeit in Reiseflughöhe von 875 Stunden im Jahr ergibt sich für das Flugpersonal auf diesen Routen eine mittlere jährliche Strahlenexposition von etwa 6 mSv.

5. Besondere Vorkommnisse

Eine Übersicht über besondere Vorkommnisse im Anwendungsbereich der Strahlenschutzverordnung (beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, Betrieb von Beschleunigern und bei der Beförderung radioaktiver Stoffe) im Jahr 1997, enthält Tabelle IV.2. Die Übersicht dient dazu, mögliche Fehlerquellen beim Umgang mit radioaktiven Stoffen oder ionisierender Strahlung aufzuzeigen, um vergleichbare Vorkommnisse zu vermeiden. Die Anmerkungen zum radiologischen Gefährdungspotential beziehen sich auf die Umstände des Einzelfalls, vor allem auf die Beschaffenheit des radioaktiven Stoffs (mit oder ohne Umhüllung bzw. undicht, Aktivität, Eindringtiefe und biologische Wirksamkeit der Strahlung) und die Art der Handhabung oder Nutzung.

Die Übersicht beruht auf den Feststellungen der für den Strahlenschutz zuständigen Behörden der Bundesländer beim Vollzug der Strahlenschutzverordnung und stellt keinen Bericht über die im Rahmen der Bekämpfung des illegalen Handels oder der Nuklearkriminalität gewonnenen Erkenntnisse dar.

Fälle erhöhter Radioaktivität in Metallschrott sind in der Übersicht angeführt, soweit abhanden gekommene radioaktive Quellen gefunden wurden.

6. Fall-out von Kernwaffenversuchen

In den Jahren 1945 bis 1980 wurde eine große Anzahl von oberirdischen Kernwaffenversuchen durchgeführt; seit 1981 gab es nurmehr unterirdische Kernwaffenversuche. Im Jahr 1997 wurden keine Atomtests durchgeführt.

Der allgemeine Pegel der Umweltradioaktivität durch die früheren Kernwaffenversuche in der Atmosphäre ist in den letzten 35 Jahren ständig zurückgegangen. Ihr Anteil an der gesamten Strahlenexposition des Menschen beträgt zur Zeit weniger als 0,01 mSv/a.

Tabelle IV.1

Kerntechnische Anlagen im benachbarten Ausland

(Stand: Dezember 1997)

Land	Anlage/Standort	Entfernung zur deutschen Grenze
Schweiz	Kernkraftwerk Beznau (2 Blöcke)	ca. 6 km
	Paul Scherrer Institut Villingen/Würenlingen	ca. 7 km
	Kernkraftwerk Mühleberg	ca. 70 km
	Kernkraftwerk Gösgen-Däniken	ca. 20 km
	Kernkraftwerk Leibstadt	ca. 0,5 km
Frankreich	Kernkraftwerk Fessenheim (2 Blöcke)	ca. 1,5 km
	Kernkraftwerk Cattenom (4 Blöcke)	ca. 12 km
Niederlande	Kernkraftwerk Dodewaard	ca. 20 km
	Urananreicherungsanlage Almelo	ca. 15 km

Tabelle IV.2

Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, Betrieb von Beschleunigern und bei der Beförderung radioaktiver Stoffe 1997

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
20. 6. 1996 Nachmeldung	Verlust eines Prüfstrahlers (Cs-137 10 MBq)	Strahler möglicherweise während des Transports abhanden gekommen	Gefährdungspotential gering	Suche ergebnislos
9. 1. 1997	Verlust eines Strahlers während des Versands (Co-60 28,5 MBq)	Strahler vor oder während des Transports bzw. der Zwischenlagerung abhanden gekommen	Gefährdung dann gegeben, wenn Strahler am Körper getragen wird (100 mSv/h in 0,01m)	Suche ergebnislos; alle beteiligten Personen auf das Gefährdungspotential hingewiesen
13. 1. 1997	Verlust eines Schulquellensatzes (Pu-238 35 kBq, Kr-85 98 kBq, Na-22 22 kBq und Co-60 58 kBq)	Unachtsamkeit	Gefährdungspotential gering	Suche ergebnislos
13. 1. 1997	Personen-, Raum- und Gerätekontamination in einem radiochem. Labor	Bruch einer Glasampulle unter einem Abzug	Geringfügige Inkorporation mit Jod-Isotopen bei einer Person	Dekontamination der Person, des Raumes und der Geräte; Inkorporationsmessungen
3. 2. 1997	Fund radioaktiv kontam. Teile eines ausländ. Brennelementkastens in einer Schrotthandelsfirma (Co-60 max. 260 Bq/kg; Cs-134 max. 16 Bq/kg; Cs-137 max. 180 kBq/kg; Ra-226 max. 13 kBq/kg; Th-232 max. 33 Bq/kg; U-234 max. 3,3 kBq/kg; U-235 max. 700 Bq/kg)	Illegale Einfuhr	Behandlung von 5 Teilen als radioaktiver Abfall, da Freigrenzen überschritten	Ordnungsgemäße Entsorgung; Information der atomrechtlichen Aufsichtsbehörden
6. 2. 1997	Fund radiumhaltiger Materialien in ehemaliger Arztpraxis	Unzulässige Lagerung	Gefährdungspotential sehr gering	Ordnungsgemäße Entsorgung und Dekontamination des Raumes
13. 2. 1997	An einem Afterloading-Gerät konnte die Quelle nach Bestahlungsende nicht in die Abschirmposition zurückgeführt werden	Verschmutzung einer Magnetkupplung in einem Gleitlager	Keine	Erweiterung des Wartungsprotokolls um zwei Prüfpunkte; Information an oberste Landesbehörden für Anwender des gleichen Gerätes
17. 2. 1997	Fund uran- und thoriumhaltiger Stoffe in Abfallfässern für Chemikalien (max. an der Oberfl. 25 µSv/h)	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Beschlagnahmung und behördliche Ermittlungen
20. 2. 1997	Fund eines Päckchens mit 268 g Uranerz (Pechblende, U-238 Gesamtakt. ca. 1 MBq) auf einer Deponie	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential sehr gering	Ordnungsgemäße Entsorgung; Ermittlungen eingestellt

noch Tabelle IV.2

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
28. 2. 1997	Explosion einer 11 kg Propangasflasche im Radioaktivitätslabor einer Universität	Defekt am Gasschlauch	Keine Freisetzung radioaktiver Stoffe	
6. 3. 1997	Verlust von 200 Kunststofffläschchen mit C-14 markierter Närbodenlösung (jeweils 150 kBq) in einem Krankenhaus	Versehentliche Abgabe in den übrigen Laborabfall	Nicht zu erwarten; Zulässige spezif. Aktivität für Hausmüll wurde nicht überschritten	Fläschchen waren im Abfall geschreddert und gepreßt aufgefunden worden; Verbrennung mit behördlicher Zustimmung
14. 3. 1997	Kontamination der Arme eines Klinikarztes bei nuklearmed. Behandlung eines Patienten (Re-188 75 MBq)	Unsachgemäße Handhabung	Kontamination: linker Arm: 1930 Bq/cm² (1,6 mSv) rechter Arm: 80 Bq/cm² (67 µSv)	Dekontamination
20. 3. 1997	Verschwelung eines Papiervorfilters am Atemschutzfilter eines Mitarbeiters bei Arbeiten im Kontrollbereich	Funkenflug bei Trennarbeiten	Keine Aktivitätsfreisetzung in die Umgebung	Behördliche Ermittlungen; Inkorporations- und Ausscheidungsmessungen für den betroffenen Mitarbeiter ergaben keine gesundheitl. Beeinträchtigungen, da die Strahlenexpos. weit unter den Grenzwerten lag
21. 3. 1997	Sicherstellung einer Borduhr mit radioakt. Leuchtschrift bei der Grenzkontrolle (an der Oberfl. ca. 45 µSv/h)	Illegale Einfuhr	Keine	Einfuhrverbot
27. 3. 1997	Explosion eines Glasbehälters mit Salpetersäure-Lösungsmittelgemisch, das mit abgereichertem Uran verunreinigt war, in einem Forschungslaboratorium	Chemische Raktion	Geringfügige Kontamination eines verletzten Mitarbeiters; keine Kontamination der Umwelt	Ausscheidungsanalyse ergab geringfügige, über dem natürl. Gehalt an U-234/238 liegende Zufuhr; zulässiger Dosisgrenzwert war weit unterschritten
3. 4. 1997	Fund von Teilen einer Füllstandsmeßeinrichtung mit zwei Strahlern (Cs-137 mit je ca. 100 MBq, an der Oberfläche 3,5 bzw. 4 mSV/h) in einer Schrottlieferung	Unterlassener Ausbau der Meßeinrichtung vor Verschrottung der Behälter	Gefährdungspotential gering, daß Abschirmung der Strahler noch vorhanden war	Ordnungsgemäße Entsorgung
14. 4. 1997	Fund einer Ra-Kompresse auf dem Dachboden eines Hauses (Ra-226 1 MBq)	Unzureichende Lagerung	keine Gefährdung, da sich dort keine Personen aufgehalten haben	Ordnungsgemäße Entsorgung
11./15. 4. 1997	Sicherstellung kontaminierter Abfallgebinde aus einem Müllheizkraftwerk in einer Untertagedeponie (I-131 18 bis 22 Bq/g)	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung

noch Tabelle IV.2

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
16. 4. 1997	Fund eines Dosimeterauswertegerätes mit Strahler (H-3 1,5 GBq) auf einem Privatgrundstück	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential sehr gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
17. 4. 1997	Feststellung einer leichten Beschädigung der äußeren Schutzverpackung eines Typ A-Transportcontainers auf einem Flughafen (6 Strahler Cs-137 mit insges. 943,5 GBq)	Nicht bekannte Einwirkung auf den Transportcontainer	Keine, da der Transportcontainer selbst und die Abschirmung der Strahler intakt waren	Verbesserung des Strahlenschutzmanagements und Schulung des Personals
18. 4. 1997	Fund von kontaminiertem Abfall aus der Nuklearmedizin in einem Müllheizkraftwerk (I-131 und Tc-99m Gesamtakt. ca. 100 MBq)	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
22. 4. 1997	Rückzugshemmung des Strahlers im Ausfahrsystem eines Afterloadinggerätes	Abknicken des Applikators wärend der Behandlung	Die die Störung beseitigende Mitarbeiterin erhielt eine Ganzkörperdosis von 0,2 mSv und eine Teilkörperdosis von ca. 13 mSv (Hände); die erhöhte Patientendosis konnte in den Folgebestrahlungen ausgeglichen werden	Gerät bis zur Überprüfung durch Servicefirma stillgelegt
23. 4. 1997	Bei Durchstrahlungsarbeiten trat ein Prüfer vor den noch geöffneten Kanal des Co-60-Strahlers	Nichtbeachtung der Strahlenschutzvorschriften	Der Prüfer erhielt eine Personendosis von 0,12 mSv	Belehrung und sicherheitstechn. Verbesserung
29. 4. 1997	Feststellung der Kontam. einer umschl. Strahlenquelle (Am-241 3,7 GBq) an der Oberfl. (300 Bq)	Fremdkontam. durch Transport in einem kontam. Arbeitsbehälter	Gefährdungspotential gering	Dekontamination und Belehrung
5. 5. 1997	Fund von kontam. Filterstaub in einer Müllverbrennungsanlage (I-131 max. 15 Bq/g)	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
13. 5. 1997	Fund eines Wasserauslaufhahnes mit radioaktivem Strahler (Ra-226, 10 µSv/h in 1 m Abstand) im Metallschrott	Reste einer alten Vorrichtung zur Herstellung radonhaltigen Trinkwassers	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
15. 5. 1997	Erhöhte Ableitung von mit I-131 kontaminiertem Abwasser (Gesamtakt. ca. 1,4 GBq) aus der Abklinganlage eines Krankenhauses	Ablesefehler des Haustechnikers; organisat. Mängel	Gefährdungspotential aufgrund der Verteilung der Aktivität sehr gering	Einbau eines zweiten Ventils, welches bewirkt, daß nur bei gleichzeitiger Öffnung durch Haustechniker und Strahlenschutzbeauftragten die Behälter entleert werden können

noch Tabelle IV.2

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
15. 5. 1997	Verlust von 4 Schulquellen (Co-60, Pu-239, Kr-85, Na-22)	Vermutlich Diebstahl	Gefährdungspotential gering	Ermittlungsverfahren
15. 5. 1997	Fund eines Strahlers (Cs-137 200 GBq) in einer Metallgießerei	Unzulässige Entsorgung	Sehr großes Gefährdungspotential, aber soweit nachvollziehbar, waren Beschäftigte der beteiligten Schrottfirma und Spedition ohne Strahlenexp. und mediz. Befund	Umfassende Ermittlungen durch nat. Behörden und internat. Organisationen; Einstufung des Vorkommnisses als INES Stufe 2 auf der internationalen Meldeskala
20. 5. 1997	Fund eines umschlossenen Strahlers in der Elbe (Am-241 35 kBq, 0,5 µSv/h)	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
27. 5. 1997	Freisetzung von C-14-markiertem Essigsäureethylester mit der Abluft aus einem Isotopenlabor (26 GBq mit 180000 m³ Abluft)	Undichtes Ventil in einem Autoklavendeckel	Gefährdungspotential gering	Vorkehrungen getroffen zur Vermeidung einer Wiederholung
27. 5. 1997	Fund von kontam. Laborabfall in einem Müllheizkraftwerk (Tc-99m Gesamtaktiv. 1 MBq)	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Verschärfte meßtechn. Ausgangskontrollen in der Nuklearmedizin
27. 5. 1997	Absturz eines Strahlers für Füllstandsmessungen (Co-60 340 MBq) aus der Befestigung an einer Behälterwand	Zu hohe mechanische Beanspruchung der Befestigung	Keine, Strahler blieb unversehrt und wurde sofort geborgen	Verbesserung der Befestigung
3. 6. 1997	Fund einer kontaminierten Spitze einer Dreikanthandfeile bei Aufräumarbeiten	Unzulässige Entsorgung	Keine, da Kontamination gering war	Ordnungsgemäße Entsorgung
3. 6. 1997	Fund von zwei Strahlern (Ra-226 300 µSv/h, Co-60 20 µSv/h) in einer Wohnung	Unzulässige Aufbewahrung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
3. 6. 1997	Fund von drei Füllstandsmeßgeräten mit Cs-137-Strahlern (insgesamt 7 GBq) in einem Transportcontainer, der nicht entsprechend gekennzeichnet war, an einem Grenzübergang	Nichtbeachtung gefahrgutrechtlicher Beförderungsbestimmungen	Gefährdungspotential gering, da Container den gesetzlich vorgegebenen Anforderungen entsprach	Ausfuhrverbot bis zur Vorlage der für die Beförderung erforderlichen Papiere erteilt
11. 6. 1997	Fund eines Strahlers (Cs-137 75 MBq) in einem Stahlrohr auf einem Schrottplatz	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung; Behördliche Ermittlungen

noch Tabelle IV.2

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
12. 6. 1997	Fund von kontam. Abfall aus der Nuklearmedizin in einem Müllheizkraftwerk (I-131, Tc-99m)	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
16. 6. 1997	Fund von 89 Ionisations-Rauchgasmeldern auf einem ehemaligen Betriebsgelände (Kr-85, je ca. 150 MBq)	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
22. 6. 1997	Einleitung von kontam. Abwässern aus einer nuklearmed. Einrichtung in die öffentl. Kanalisation (I-131, ca. 100 MBq)	Ausfall einer Pumpe zur Abklinganlage	Gefährdungspotential gering	Fehlerquelle beseitigt
24. 6. 1997	Defekt an der Zu- und Abluftklappe einer Heißen Zelle	Defektes Relais an der Klappensteuerung	Keine	Austausch des Relais
26. 6. 1997	Verlust eines Tresors aus einer Schule, in dem u. a. radioaktive Präparate für Lehrzwecke (Uranerz, Radium, Thorium) aufbewahrt wurden	Diebstahl	Gefährdungspotential gering; Gesundheitsgefährdung nur bei Inkorporation oder längerem Hautkontakt	Ermittlungsverfahren
26. 6. 1997	Bei Durchstrahlungsarbeiten verklemmte sich der Strahler (Se-75 2800 GBq) in der Strahlerführung und konnte nicht fernbedient in den Arbeitsbehälter zurückgeführt werden	Defekt am Ausfahrdraht	Die die Störung beseitigenden Mitarbeiter erhielten Ganzkörperdosen von 2,0 mSv und 1,2 mSv	Technische Änderung durch Hersteller am Gerät vorgenommen, sowie entspr. Information an alle Kunden
7. 7. 1997	Fund eines Strahlers (Co-60 5,3 MBq, an der Oberfläche 1,3 mSv/h) in einem stark verrosteten Tresor	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential gering, da Strahler dicht war und der Raum, in dem sich der Tresor befand, nicht genutzt wurde	Ordnungsgemäße Entsorgung
14. 7. 1997	Freisetzung von Cs-137 (0,1 bis 1 MBq) durch Beschädigung einer umschlossenen Quelle (22,2 GBq) außerhalb des Kontrollbereiches	Unsachgemäße Handhabung entgegen Strahlenschutzanweisung und Belehrung	Bodenkontam. (3 bis 80 Bq/cm²), Kontam. von 6 Personen und versch. Gegenständen; 0,8 Bq/cm² verbleibende Hautkontamination (Hand) eines Mitarbeiters; Inkorporation von 0,18 kBq bei einem Mitarbeiter und 0,03 kBq bei 5 weiteren Mitarbeitern	Sperrung der kontaminierten Räume; Dekontamination; Strahlenschutzbelehrung; staatsanwaltschaftliches Ermittlungsverfahren
18. 7. 1997 und 23. 7. 1997	Sicherstellung von 44 nicht bauartzugelassenen, mit Tritiumgas gefüllten Angelposen („H-3 Betalights" ca. 16 MBq pro Pose, ca. 1 µSv/h)	Illegale Einfuhr	Bei intaktem Glasmantel keine Gesundheitsgefährdung	Sicherstellung

noch Tabelle IV.2

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
24. 7. 1997	Vertrieb nicht bauartzugelassener, mit Tritiumgas gefüllter Angelposen („H-3 Betalights" 0,5 bis 5 MBq pro Pose)	Illegale Einfuhr	Bei intaktem Glasmantel keine Gesundheitsgefährdung	Untersagung des Vertriebs; Rückgabe der Restbestände an ausländische Lieferfirma
30. 7. 1997	Vertrieb nicht bauartzugelassener, mit Tridiumgas gefüllter Angelposen („H-3 Betalights" ca. 500 MBq pro Pose)	Illegale Einfuhr	Bei intaktem Glasmantel keine Gesundheitsgefährdung	Untersagung des Vertriebs; Rückgabe der Restbestände an Importeur
6. 8. 1997	Fund mehrerer radioakt. Präparate in Bleigefäß im Elektronik-Schrott (Ra-226 6,7 MBq und 0,4 MBq, Co-60 1,2 MBq)	Unzulässige Entsorgung	Keine Kontamination von Personen oder Gegenständen	Sicherstellung und Entsorgung, Behördliche Ermittlungen
11. 8. 1997	Abbruch eines Sondengestänges in einem Bohrloch (Cf-252 124 MBq)	Unzulässige mechan. Beanspruchung	Keine	Strahler verbleibt im Bohrloch, da Bergung nicht möglich; Aufnahme in Kataster
13. 8. 1997	Strahlenexposition von zwei Prüfern bei Gammaradiographie-Arbeiten (Ir-192 1 500 GBq)	Bei Durchstahlungsarbeiten löste sich die Magnethalterung der Stahler-Ausfahrspitze und wurde beschädigt. Dadurch konnte der Stahler nicht fernbedient in den Arbeitsbehälter zurückgeführt werden	Zwei von der Bergung des Strahlers beteiligte Prüfer erhielten Personendosen von 2 bzw. 6 mSv, für letzteren wurde außerdem eine Handdosis von 3,6 Sv ermittelt	Übersendung des Gerätes zur Überprüfung und Reparatur an Hersteller
21. 8. 1997	Fußbodenkontamination in einer nuklearmed. Einrichtung (I-131)	Undichtigkeit einer Apparatur	Gefährdungspotential gering	Dekontamination des Fußbodens und Kontaminationskontrolle des Personals (Schuhe)
21. 8. 1997	Feststellung nicht bauartzugelassener Ionisationsrauchmelder in Testgeräten für die Halbleiterfertigung (156 Stück mit je 26 kBq Am-241)	Keine Bauartzulassung	Keine	Antrag auf Umgangsgenehmigung
21. 8. 1997	Feststellung eingebauter, nicht bauartzugelassener Ionisationsrauchmelder in Testgeräten für die Halbleiterfertigung (4 Stück pro Gerät mit je 26 kBq Am-241)	Keine Bauartzulassung	Keine	Antrag auf Bauartzulassung
4. 9. 1997	Abriß des Ausfahrdrahtes des Strahlers an einem Afterloadinggerät während einer interstitiellen Bestrahlung	Fehlerhafte Schweißstelle	Die zur Bergung der Quelle eingesetzte Person erhielt eine Dosis von 1,6 mSv. Die geplante Patientendosis wurde nicht überschritten	Reparatur durch Hersteller

noch Tabelle IV.2

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
11. 9. 1997	Fund von 6 Ionisations-Rauchgasmeldern auf einem ehemaligen Betriebsgelände (Kr-85, je ca. 18,5 MBq)	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
18. 9. 1997	Verkehrsunfall bei der Beförderung von 3 Strahlern für Durchstrahlungsarbeiten	Technischer Defekt am Fahrzeug	Keine	Strahler blieben unversehrt
26. 9. 1997	Einschalten einer medizinischen Beschleunigeranlage während des Aufenthaltes eines Mitarbeiters im Bestrahlungsraum	Unachtsamkeit	Nicht zu erwarten, da sich der Mitarbeiter während der Bestrahlung (ca. 10 bis 20 s) im Zugangslabyrinth aufhielt und sein Dosimeter keine Dosis anzeigte	Vorkehrungen getroffen zu Vermeidung einer Wiederholung
1. 10. 1997	Brand in einem Radionuklidlabor	Kurzschluß in einer elektr. Leitung	Keine, da Raum frei von radioakt. Stoffen	
1. 10. 1997	Verschlußstörung an einer medizinischen Gammabestrahlungseinrichtung	Frühere mechanische Beschädigung am Strahlerkopf	Ganzkörperdosis Mitarb. 5 µSv; Patientendosis 4,2 Gy statt 2 Gy	Fehlerquelle beseitigt
2. 10. 1997	Leckage an einem Abklingbehälter mit 500 l kontam. Abwasser (I-131); Auffang in der Boden-Sicherheitswanne	Betriebsstörung	Keine Freisetzung in die Umgebung	Abwasser wurde in einen leeren Behälter umgepumpt
2. 10. 1997	Zurückweisung eines ausländischen LKW mit einer Erzladung (300 bis 400 Bq/g, an der Außenfläche max. 16,5 µSv/h) bei der Ausreise	Keine Kennzeichnung des Fahrzeuges nach GGVS und Art der Verpackung nicht ordnungsgemäß	Gefährdungspotential gering	Nach ordnungsgemäßer Kennzeichnung des Fahrzeuges Rücktransport zum Absender
9. 10. 1997	Fund radioaktiver Stoffe (Cs-137 115 MBq)	Unzureichende Räumung ehemals militärisch genutzter Bereiche	Gefährdungspotential gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
10. 10. 1997	Fund von radioakt. Material (Co-60 10 MBq) in einem Schrottpressteil	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential sehr gering	Ordnungsgemäße Entsorgung, staatsanwaltschaftliches Ermittlungsverfahren
14. 10. 1997	Verlust einer Waage mit Strahler (Cs-137 300 MBq), die in den Schrott gelangte und geschreddert wurde	Unzulässige Aufbewahrung	Gefährdungspotential gering	Ermittlungsverfahren abgeschlossen
29. 10. 1997	Fund uran- und thoriumhaltiger Stoffe in 5 Fässern (146 Bq/g, an Faßoberfl. max. 14 µSv/h) bei einer Zollbehörde	Nichtbeachtung gefahrgutrechtlicher Beförderungsbestimmungen	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung

noch Tabelle IV.2

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
30. 10. 1997	Abhandenkommen eines Sacks mit radioaktivem Abfall (H-3 max. 8 MBq) in einer Klinik, der versehentlich als normaler Abfall entsorgt wurde	Tätigkeit dazu nicht befugter Reinigungskräfte	Gefährdungspotential sehr gering	Organisatorische Maßnahmen
30. 10. 1997	Fund eines Strahlers (Ra-226 0,1 MBq) in einer Schrottlieferung	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential sehr gering	Ordnungsgemäße Entsorgung; Ermittlungsverfahren
10. 11. 1997	Fund eines Schulquellensatzes (Co-60 95 kBq; Cs-137, Na-22 und Kr-85 unterhalb der Freigrenzen)	Unzulässige Entsorgung	Keine, da verschlußsichere Lagerung	Ordnungsgemäße Entsorgung
17. 11. 1997	Fund radioaktiver Stoffe in kleinen Behältnissen (50 g Uran, ca. 300 g Uranylacetat, ca. 100 g Thoriumnitrat) bei Aufräumarbeiten in einem Institut	Unzulässige Aufbewahrung bzw. Entsorgung	Gefährdungspotential sehr gering	Behördliche Ermittlungen
18. 11. 1997	Verlust eines Markers für die Nuklearmedizin (Co-57 ca. 850 kBq)	Unachtsamkeit	Keine	Organisatorische Maßnahmen
18. 11. 1997	Fund eines Strahlenmeßgerätes mit Prüfstrahler (Cs-137 70 kBq) auf dem Sperrmüll	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotential sehr gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
25. 11. 1997	Tätigkeit von vier nicht beruflich strahlenexponierten Personen an einer radiometrischen Meßeinrichtung bei nicht abgeblendetem Strahl	Verletzung der Aufsichtspflicht des Strahlenschutzbeauftragten	Abschätzung einer maximalen Dosis von 100 mSv im ungünstigsten Fall	Medizinische Untersuchungen ergaben keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen
25. 11. 1997	Kontamination in zwei Meßköpfen mit je 2 Strahlern (Sr-90 925 MBq) an einer Zigarettenfertigungsmaschine	Undichtheit der Strahler	Keine, da kein Kontakt zwischen Meßgut und Strahlern besteht	Einbau neuer Strahler
26. 11. 1997	Fund thoriumhaltiger Stoffe (Gebinde aus vier 150 l Fässern; an der Außenseite 5 µSv/h	Illegal betriebenes Chemikalienlager	Gefährdungspotential gering	Beschlagnahmung und behördliche Ermittlungen
2. 12. 1997	Fund eines radioaktiven Stoffes (Uranylacetat) in einer Firma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
5. 12. 1997	Fund von zwei radiumhaltigen Elektronenröhren (Ra-226 je 60 kBq)	Fehlende Kennzeichnung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung

noch Tabelle IV.2

Datum	Vorkommnis	Ursache	Radiologische Folgen	Maßnahmen/ Bemerkungen
8. 12. 1997	Äußere Strahlenexposition zweier Mitarbeiter bei Wartungarbeiten in einem Stahlwerk (Cs-137 18,8 GBq)	Nichbeachtung der Strahlenschutzanweisung	Teikörperexposition der Füße: je Mitarb. max. 150 µSv	Disziplinarische Maßnahmen
16. 12. 1997	Verkehrsunfall bei der Beförderung von gebrauchten Mo-99-Generatoren	Fahrfehler	Keine	Strahler blieben unversehrt
17. 12. 1997	Abbruch eines Sondengestänges in 24 m Tiefe im Bergbaugelände (Cs-137 129 MBq)	Unzulässige mechan. Beanspruchung	Keine	Strahler konnte geborgen werden
17. 12. 1997	Freisetzung von Kr-85 (ca. 1,3 GBq)	Verschrottung eines Staubmeßgerätes mit noch eingebautem Strahler	Gefährdungspotential sehr gering	Bußgeldverfahren
21. 12. 1997	Fund von Mineralien mit natürl. Radionukliden (an der Oberfl. 45 µSv/h) in einem PKW	Unzulässiger Transport	Gefährdungspotential gering	Sicherstellung
22. 12. 1997	Verlust eines Leuchtschildes (H-3 31 GBq) in einem Forschungslabor	Unzulässige Entsorgung	Keine	

Tabelle IV.3

Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen in Deutschland (81,44 Millionen Einwohner), in Absolutzahlen und in relativer Häufigkeit je 1 000 Einwohner im Jahr 1994

Organ/Untersuchung	Anzahl in Tausend				je 1 000 Einwohner
	Ambulant	Stationär	Sonstige	Gesamt	
Brustkorb	11 050	10 600		21 650	266
Gliedmaßen	21 630	3 350		24 980	307
Wirbelsäule	11 110	1 200		12 310	151
Becken	3 210	570		3 780	46
Hüfte	3 830	480		4 310	53
Schädel	10 200	1 050		11 250	138
Bauchraum (leer)	1 870	720		2 590	32
Speiseröhre/Magen	750	110		860	11
Dünndarm	140	10		150	2
Dickdarm	210	80		290	4
Galle	120	100		220	3
Harntrakt	1 600	680		2 280	28
Arteriendarstellung	410	1 030		1 440	18
Venendarstellung	420	260		680	8
Mammographie	5 240	300		5 540	68 [1])
CT-Schädel	850	810		1 660	20
CT-Sonstige	2 150	1 420		3 570	44
Knochendichtemessung	1 090			1 090	13 [2])
Sonstige	1 380	250	1 990 [3])	3 620	44
Zwischensumme	77 260	23 020	1 990	102 270	1 256
Zahnuntersuchungen	22 510	10		22 520	277
Gesamt	99 770	23 030	1 990	124 790	1 533

[1]) Entspricht 157 je 1 000 Frauen älter als 15 Jahre.
[2]) Nur Ambulanz.
[3]) Nicht klassifizierte Röntgenuntersuchungen.

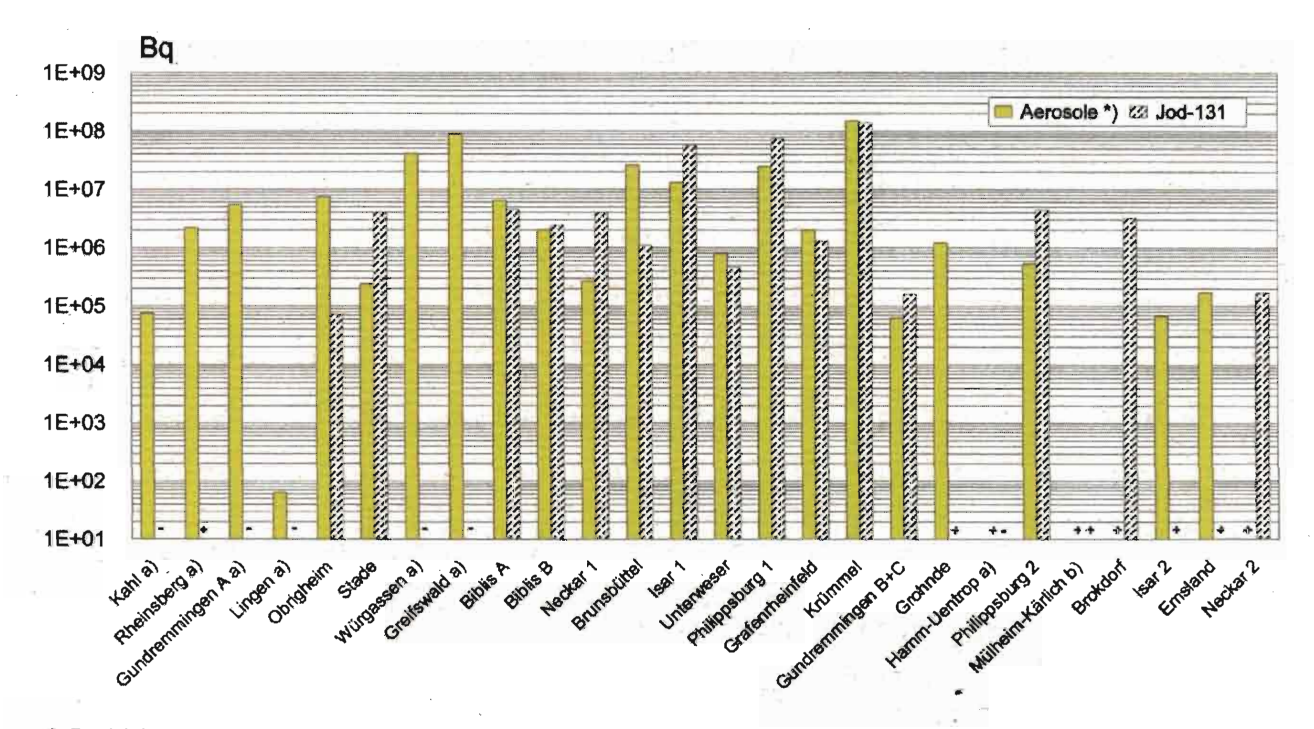
CT: Computertomographie

Tabelle IV.4

Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft und dem Abwasser aus dem Endlager Morsleben im Jahr 1997

	Abluft/Bq	Abwasser/Bq
Tritium	2,8 E+10	9,3 E+04
Kohlenstoff-14	1,4 E+09	–
langlebige Aerosole	2,3 E+06	–
Radonfolgeprodukte	1,2 E+10	–
Nuklidgemisch außer Tritium	–	1,1 E+04

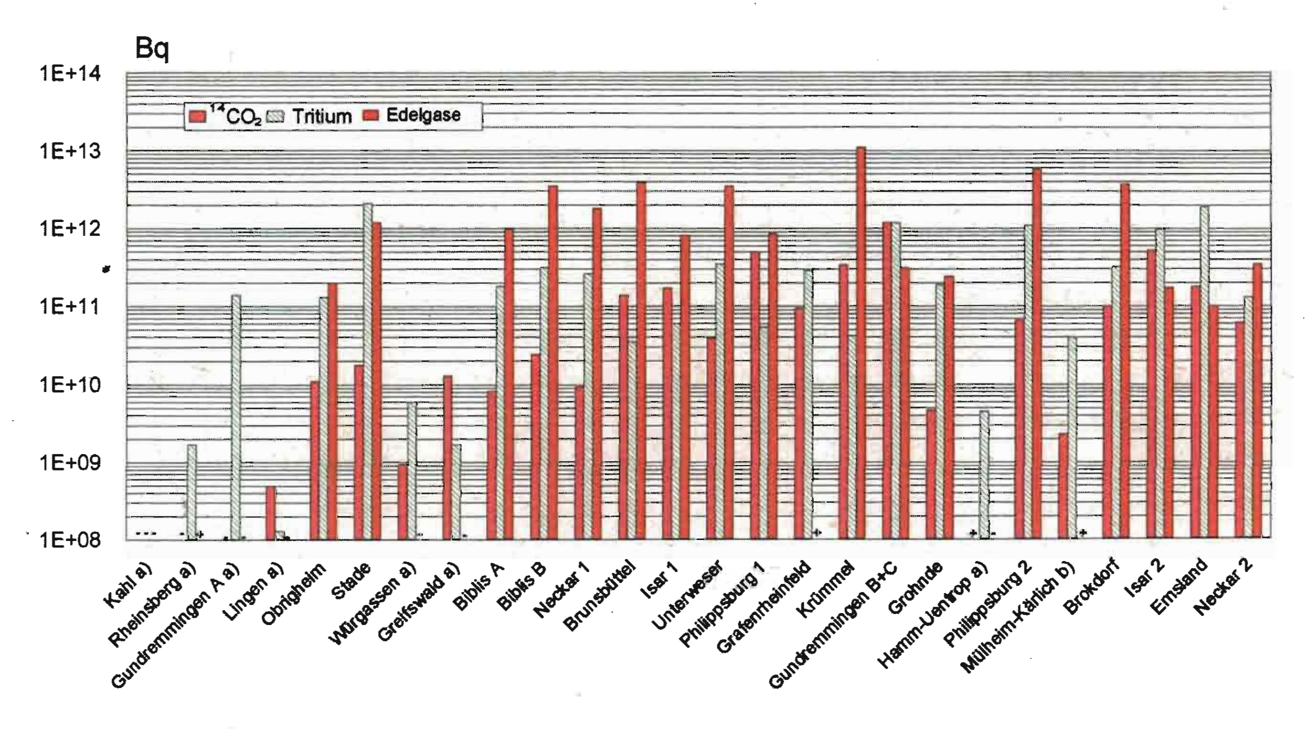
Abbildung IV.1



a) Betrieb beendet.
b) 1997 nicht in Betrieb.
*) Halbwertszeit > 8 Tage, ohne Jod-131, einschließlich Strontium und Alphastrahler.
\+ Kleiner oder gleich Nachweisgrenze.
\- Bilanzierung nicht erforderlich.

Abbildung IV.2

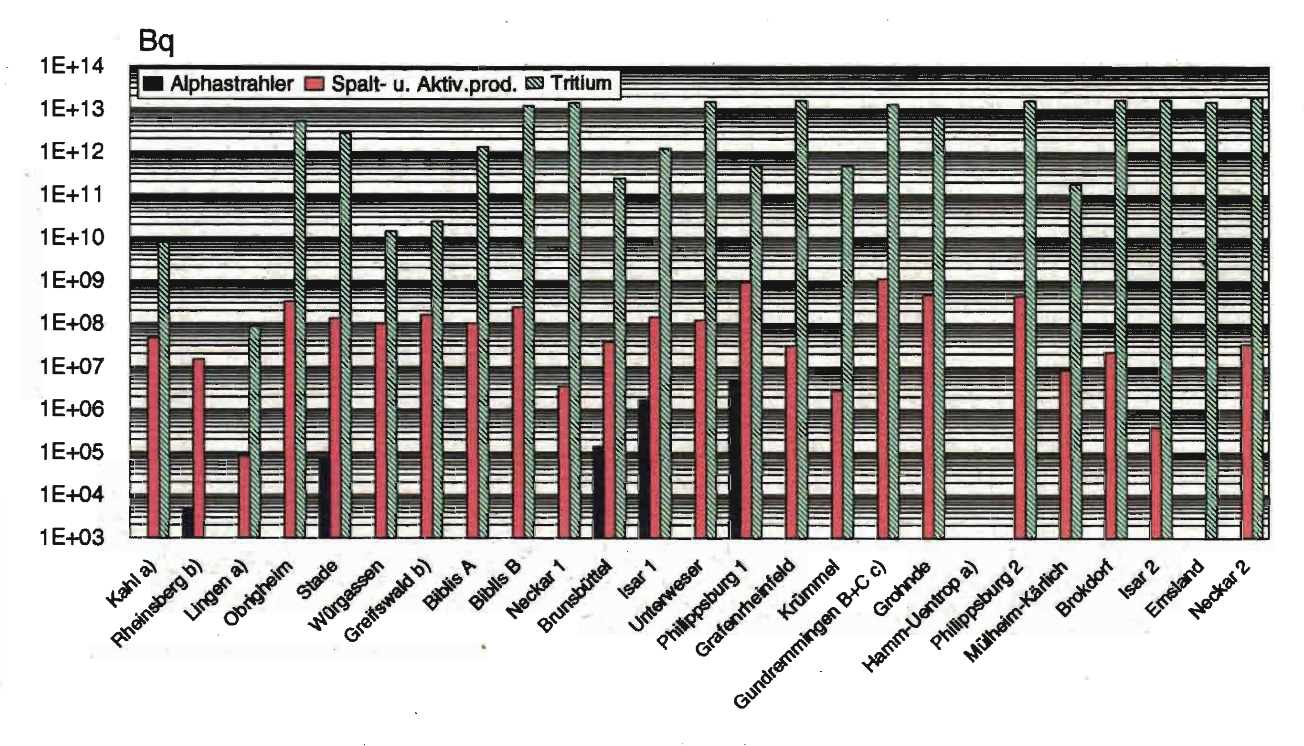
Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus Kernkraftwerken im Jahr 1997
$^{14}CO_2$, Tritium und Edelgase



a) Betrieb beendet.
b) 1997 nicht in Betrieb.
\+ Kleiner oder gleich Nachweisgrenze.
– Bilanzierung nicht erforderlich.

Abbildung IV.3

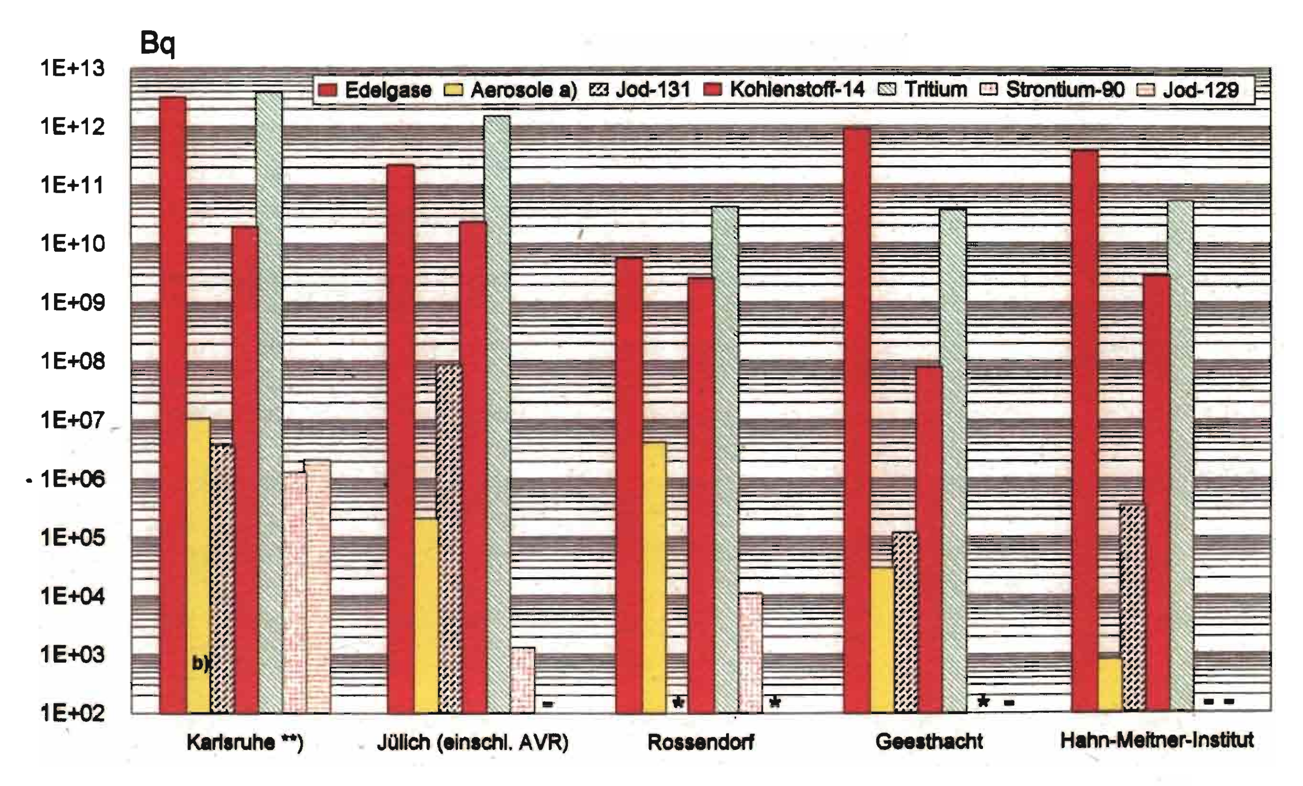
Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken im Jahr 1997 (Alphastrahler, Summenwerte und Tritium)



a) Betrieb beendet.
b) Anlage seit 1990 außer Betrieb.
c) Block A stillgelegt.
Wird kein Wert angegeben, liegt die Aktivitätsableitung unterhalb der Nachweisgrenze.

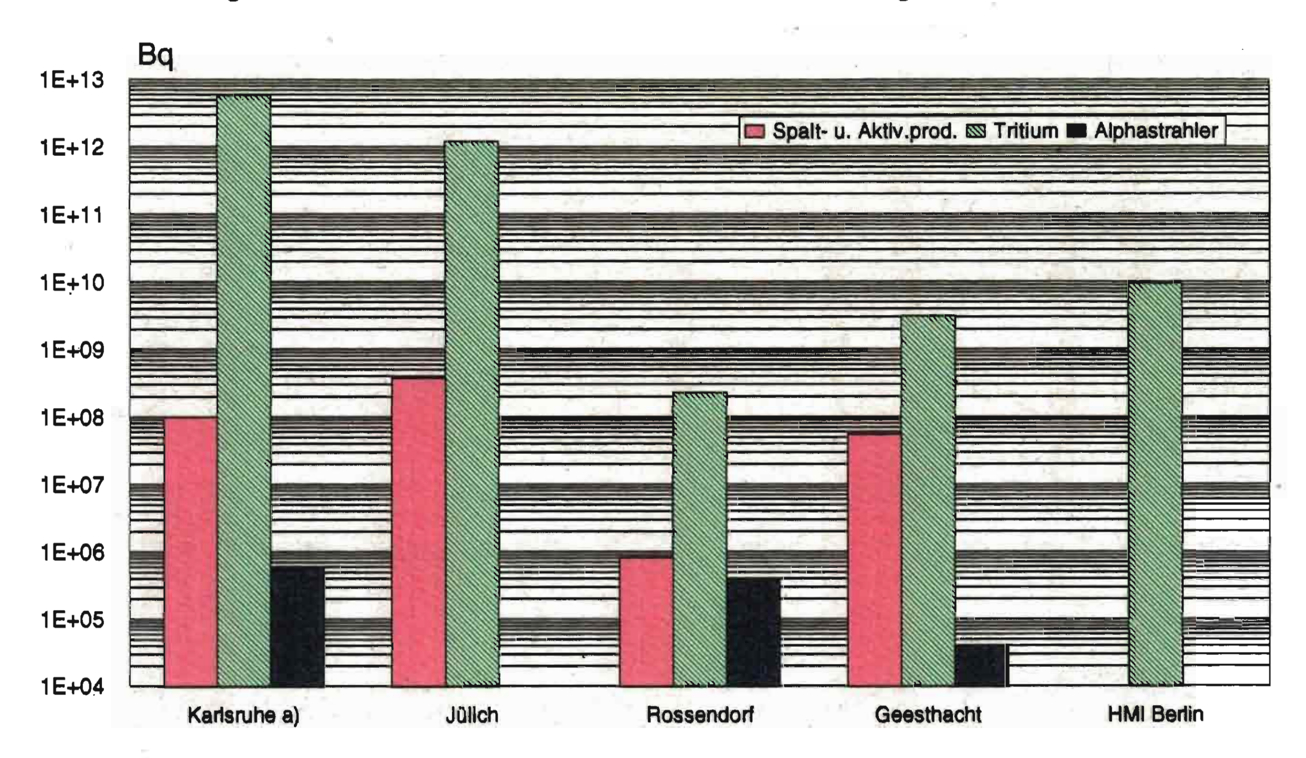
Abbildung IV.4

Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus Forschungszentren im Jahr 1997



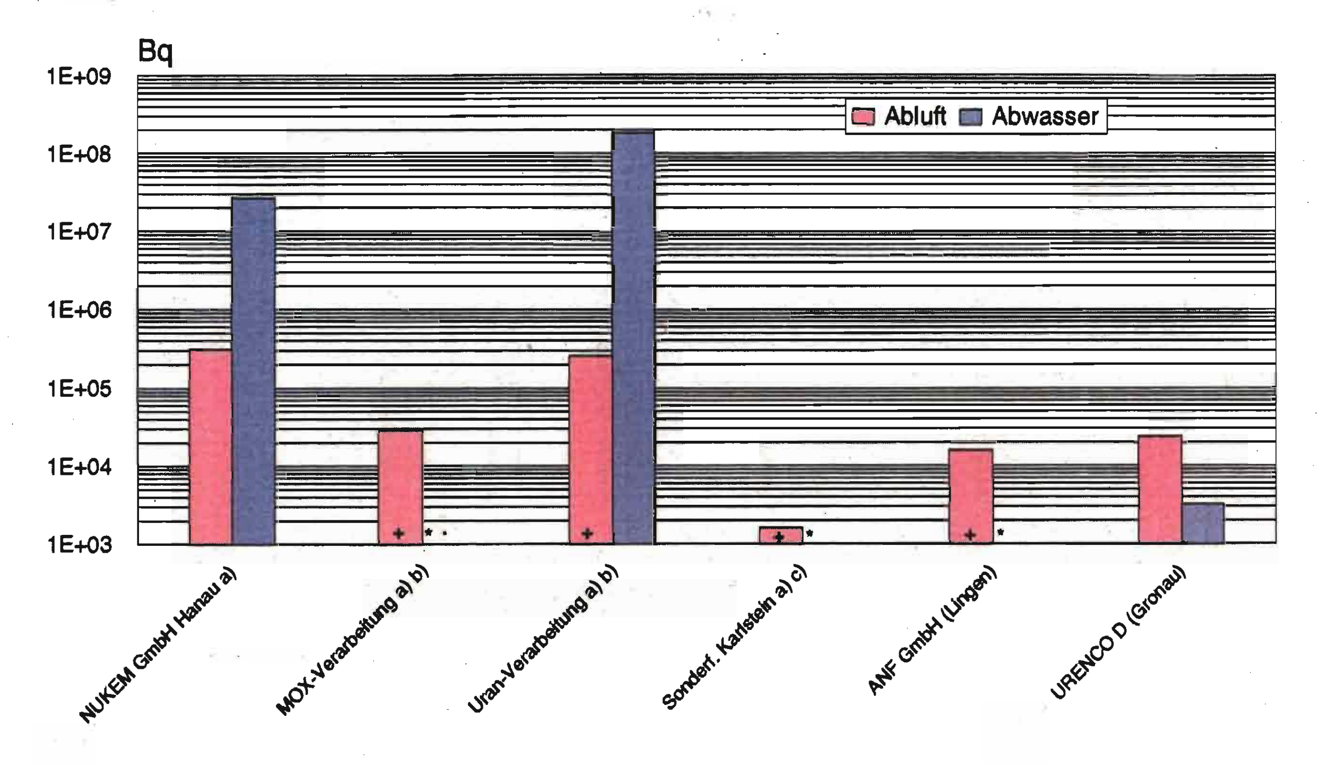
a) HWz > 8 Tage.
b) Davon Alphastrahler: 3,2 E05 Bq.
* Nicht nachgewiesen (kleiner oder gleich Nachweisgrenze).
**) Einschließlich Wiederaufarbeitungsanlage.
– Bilanzierung nicht erforderlich.

Abbildung IV.5



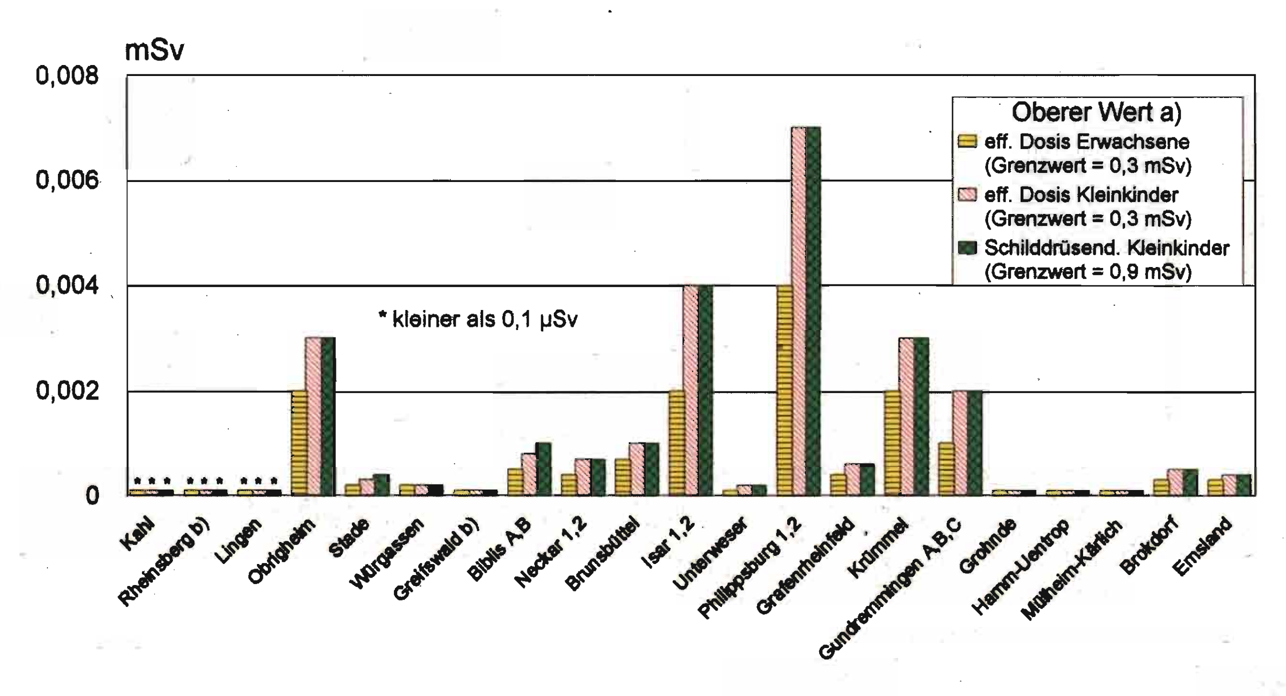
a) Einschließlich Wiederaufbereitungsanlage.

Abbildung IV.6



a) Brennelementeproduktion eingestellt.
b) SIEMENS AG, Brennelementewerk Hanau.
c) SIEMENS AG.
\+ Kleiner als angegebener Wert.
* Kleiner Nachweisgrenze.

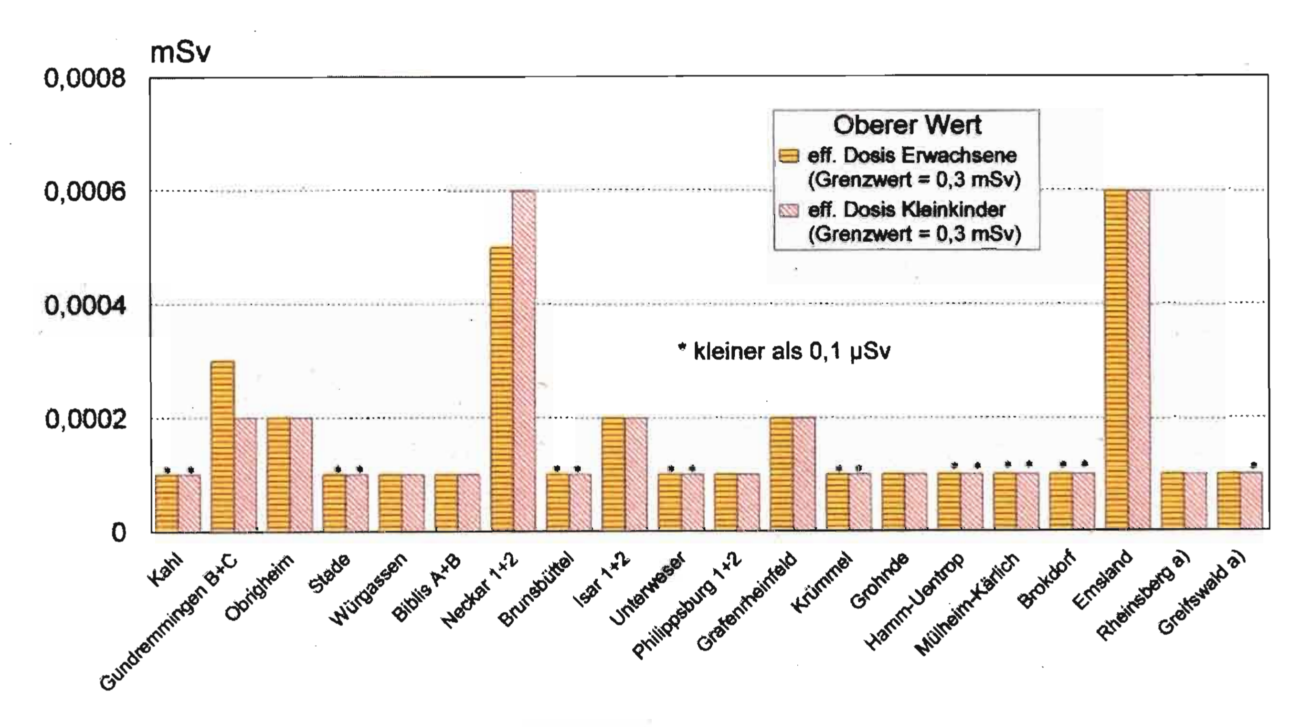
Abbildung IV.7



a) Berechnet für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen.
b) Die Strahlenexposition konnte für Expositionspfade, bei denen Radionuklide in den Vorjahren akkumuliert wurden, nur unvollständig berechnet werden, da bei diesen Kernkraftwerken Werte für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus den Jahren vor 1990 (Greifswald) bzw. vor 1984 (Rheinsberg) nicht vorliegen.

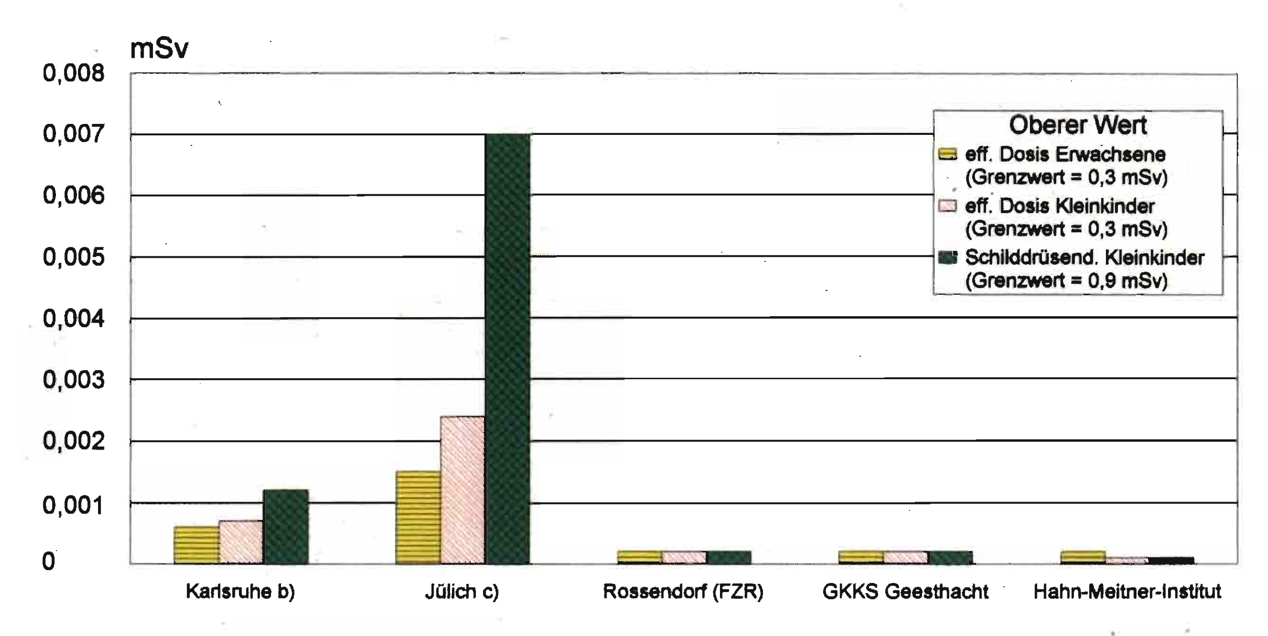
Abbildung IV.8

Strahlenexposition im Jahr 1997 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser



a) Die Strahlenexposition konnte für Expositionspfade, bei denen Radionuklide in den Vorjahren akkumuliert wurden, nur unvollständig berechnet werden, da bei diesen Kernkraftwerken Werte für die Abgabe radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus den Jahren vor 1990 nicht vorliegen.

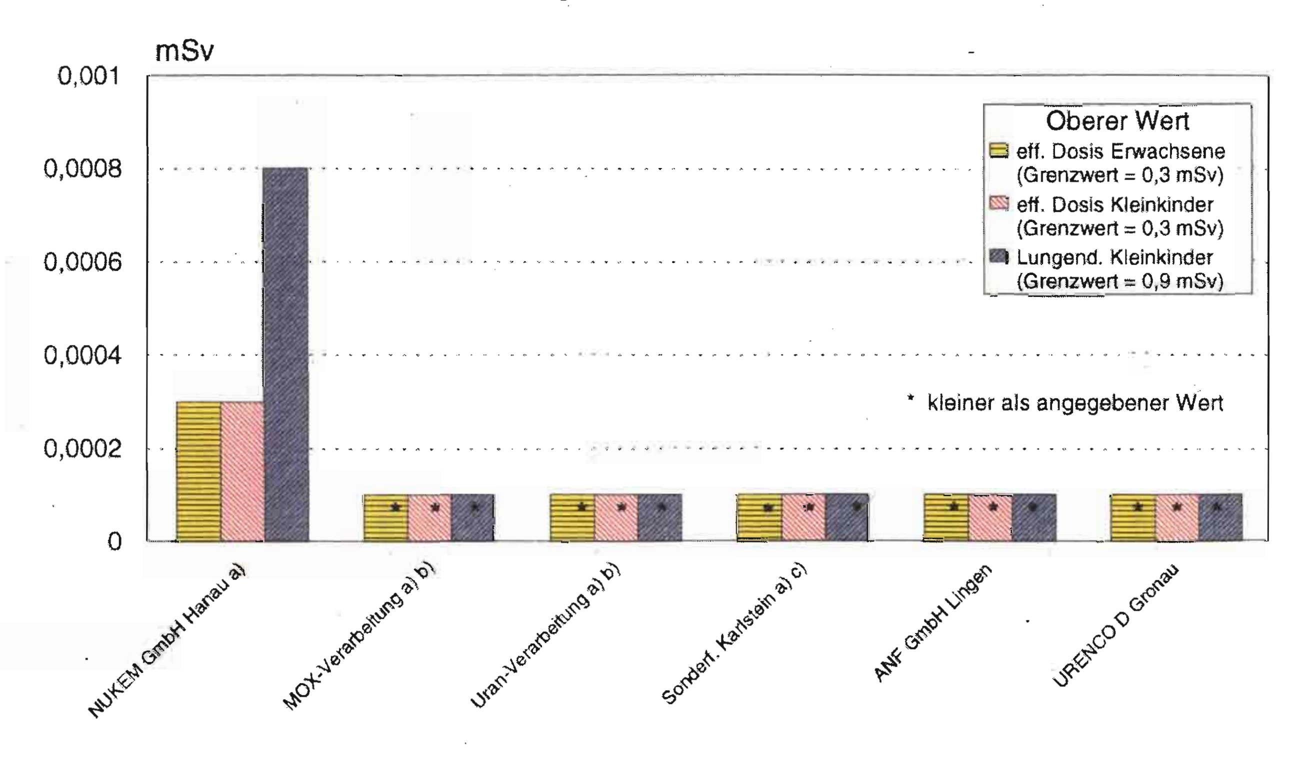
Abbildung IV.9



a) Entnommen aus den Jahresberichten 1997 sowie nach Angaben der Strahlenschutzabteilungen der Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht und HMI-Berlin.
b) Einschließlich Wiederaufarbeitungsanlage.
c) Einschließlich Versuchsreaktor AVR.

Abbildung IV.10

Strahlenexposition im Jahr 1997 in der Umgebung der kernbrennstoffverarbeitenden Betriebe durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft



a) Brennelementeproduktion eingestellt.
b) SIEMENS AG, Brennelementewerk Hanau.
c) SIEMENS AG.

Abbildung IV.11

Mit Personendosimetern überwachte Personen insgesamt und in der Medizin (ab 1990 einschließlich der neuen Bundesländer)

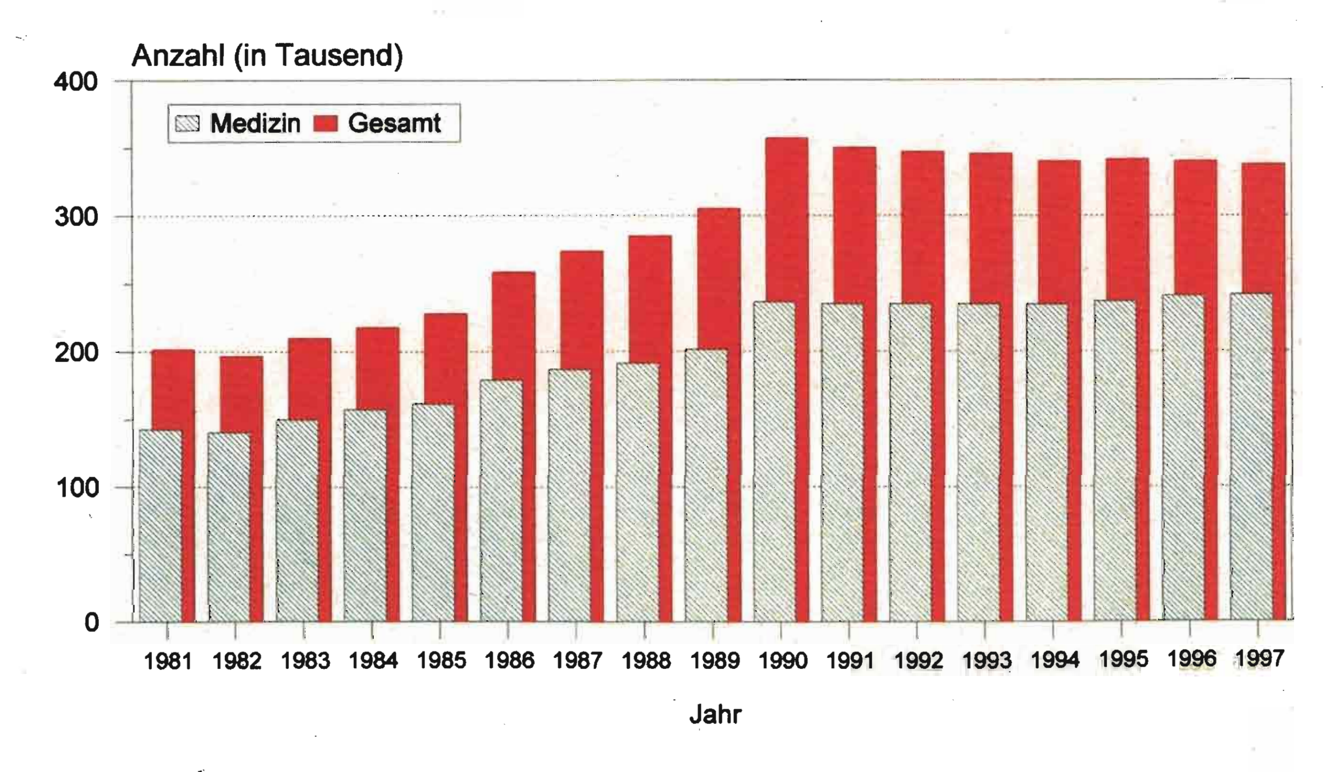


Abbildung IV.12

Entwicklung der jährlichen Kollektivdosis und Verteilung auf Strahlenanwendungsbereiche (ab 1990 einschließlich der neuen Bundesländer)

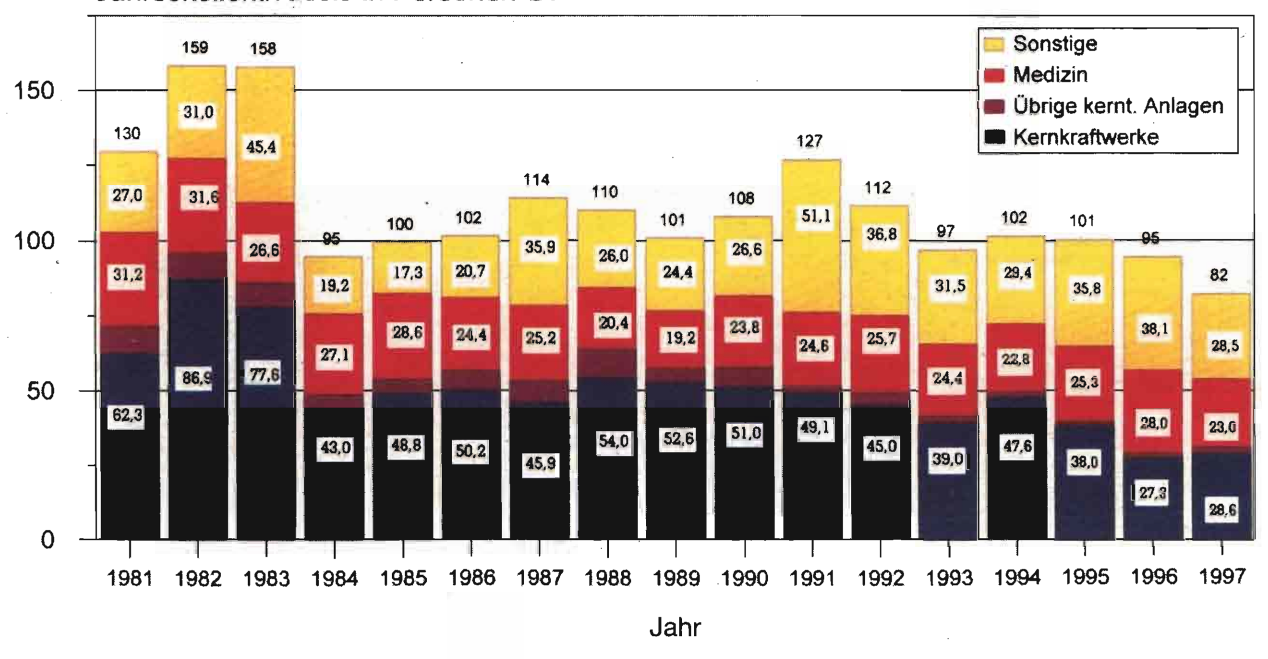


Abbildung IV.13

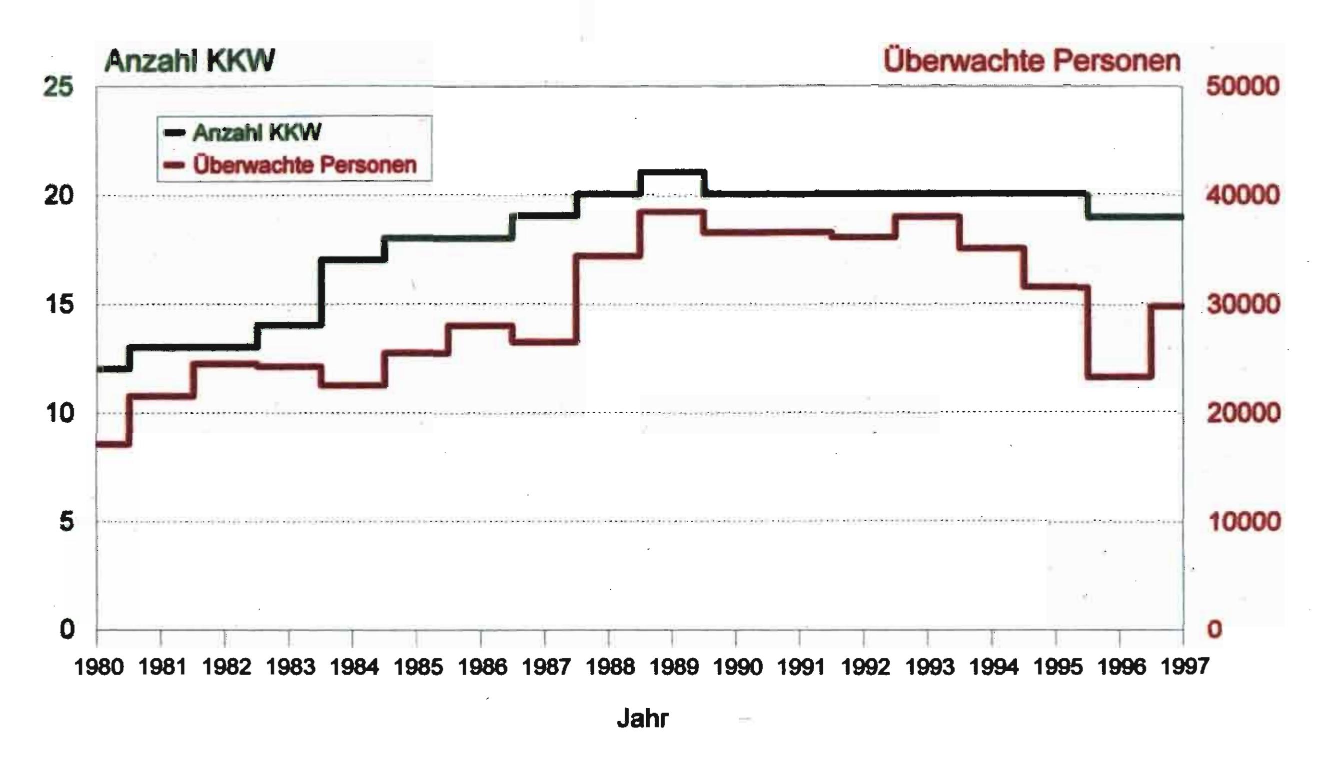


Abbildung IV.14

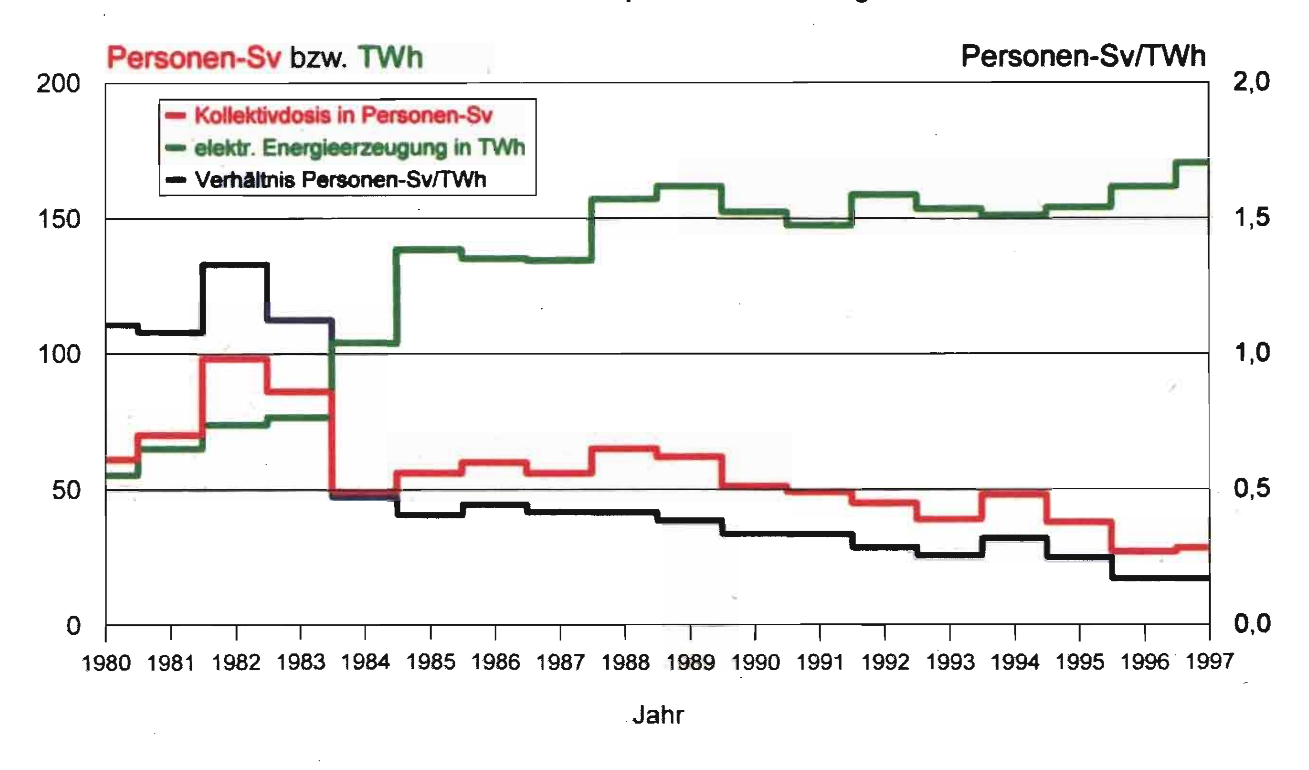


Abbildung IV.15

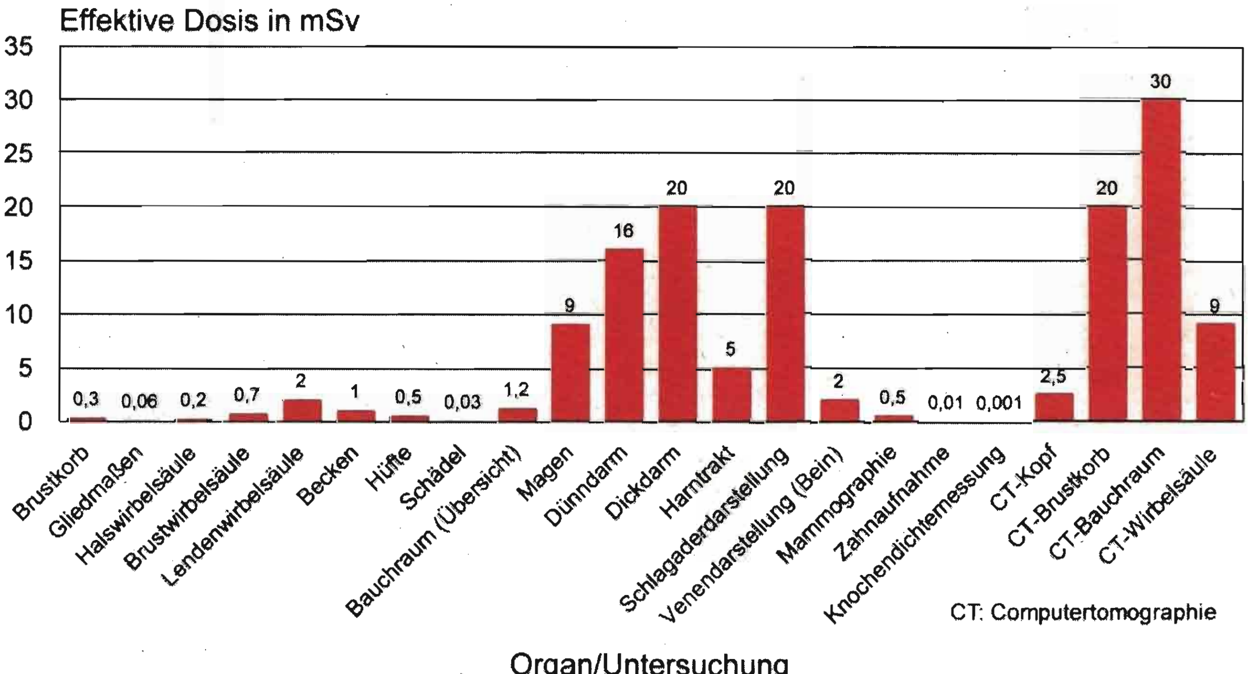
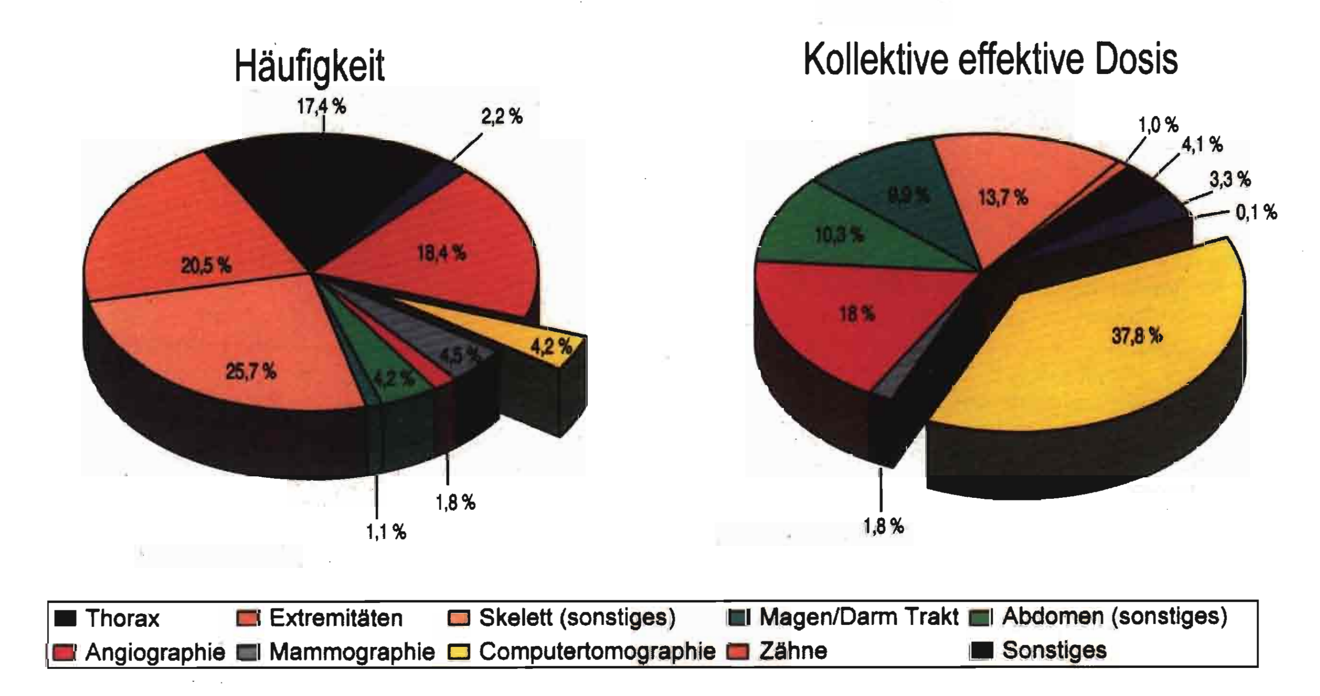


Abbildung IV.16

Prozentuale Verteilung der Röntgenuntersuchungen und ihr Anteil an der kollektiven effektiven Dosis in Deutschland 1994



V. Strahlenexposition durch den Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl

Die mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung durch den Reaktorunfall von Tschernobyl wurde 1997 fast ausschließlich durch die Bodenstrahlung des im Jahr 1986 deponierten Radiocäsium verursacht, andere Radionuklide spielen keine Rolle mehr. Dabei verursachte Cäsium-137 mehr als 95 % dieser Bodenstrahlung, da aufgrund seiner physikalischen Halbwertszeit von 30 Jahren noch 78 % der 1986 deponierten Aktivität vorliegt. Die Aktivität von Cäsium-134 hingegen ist auf weniger als 3 % des Ausgangswertes zurückgegangen. Bei ausschließlicher Berücksichtigung des physikalischen Zerfalls nahm die äußere Strahlenexposition gegenüber dem Vorjahr um ca. 3 % ab. Unter Berücksichtigung von Abschirmeffekten durch den Boden sowie durch den Aufenthalt in Gebäuden ergibt sich eine mittlere effektive Dosis der Bevölkerung durch Bodenstrahlung von weniger als 0,015 mSv pro Jahr (zum Vergleich: 1986 0,07 mSv). Südlich der Donau und in einigen Gebieten des Bayerischen Waldes und Ostdeutschlands kann die Bodenstrahlung infolge örtlich und zeitlich begrenzter starker Regenfälle zur Zeit des Durchzugs der radioaktiven Wolke, die zu einer erhöhten Ablagerung des Radiocäsium am Boden geführt haben, um bis zu einer Größenordnung höher sein. Im Vergleich dazu beträgt die mittlere äußere Strahlenexposition durch terrestrische Strahlung ca. 0,4 mSv und durch kosmische Strahlung in Meereshöhe ca. 0,3 mSv pro Jahr.

Grundnahrungsmittel wie Milch, Gemüse, Getreide, Obst und Fleisch sind durch Radiocäsium aus dem Reaktorunfall nur noch geringfügig kontaminiert. Die Meßwerte der spezifischen Aktivität bzw. Aktivitätskonzentration von Cäsium-137 liegen wie im Vorjahr in den meisten Fällen unter 1 Bq pro Kilogramm Frischmasse bzw. pro Liter. Im Durchschnitt wird mit der Gesamtnahrung eine Aktivität von ca. 0,2 Bq Cäsium-137 pro Tag zugeführt, woraus eine Ingestionsdosis von 0,001 mSv pro Jahr resultiert, die gegenüber der mittleren Strahlenexposition von ca. 0,3 mSv durch Ingestion natürlich radioaktiver Stoffe (Kalium-40, radioaktive Isotope von Uran und Thorium und deren Folgeprodukte) vernachlässigbar klein ist.

In Nahrungsmitteln aus Waldgebieten und vereinzelt auch bei Fischen aus Binnenseen sind weiterhin spezifische Cäsium-137-Aktivitäten von einigen hundert, in einigen Arten von Wildpilzen und in Wildfleisch bis zu einigen tausend Bq/kg Frischmasse zu verzeichnen, weshalb besondere Ernährungsgewohnheiten Abweichungen von der durchschnittlichen Aktivitätszufuhr über Ingestion bedingen können. Ein Verzehr von z. B. 200 g Maronenröhrlingen mit einer spezifischen Cäsium-137-Aktivität von 3 500 Bq/kg Frischmasse führt zu einer effektiven Dosis von 0,01 mSv.

Anhang

A. Strahlendosis und Strahlenwirkung

(Quelle: In Anlehnung an die Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 14)

1. Strahlendosis und ihre Einheiten

Beim radioaktiven Zerfall von instabilen Nukliden werden energiereiche Teilchen emittiert. Bei Radionukliden, die aus kerntechnischen Anlagen freigesetzt werden, sind dies vor allem Alpha- und Betateilchen sowie die Photonen der Gammastrahlung. Durch Photoeffekt, Comptoneffekt und Paarbildung erzeugen Photonen im bestrahlten Material energiereiche Elektronen und Positronen. Beim Durchgang der elektrisch geladenen Teilchen (Alpha- und Betateilchen, Elektronen und Positronen) durch Materie wird die kinetische Energie der Teilchen diskontinuierlich in vielen Teilbeträgen auf die Materie übertragen. Es kommt dabei zur Ionisation und Anregung von Molekülen und als deren Folge zur Radikalbildung. Die Dichte dieser Ionisations- und Anregungsereignisse längs der Teilchenbahn hängt von Strahlenart und Strahlenenergie ab. Man unterscheidet daher locker ionisierende Strahlungen (z. B. Beta- und Gammastrahlung) und dicht ionisierende Strahlung (z. B. Alphateilchen). Die in Wasser als Referenzmaterial längs eines kurzen Teilstücks der Teilchenbahn durch Ionisation und Anregung auf die Materie übertragene Energie, dividiert durch die Länge dieses Wegstückes, wird als linearer Energietransfer (LET) bezeichnet.

Da Ionisations- und Anregungsprozesse zu molekularen Veränderungen führen, die den Ausgangspunkt für die Entwicklung biologischer Strahlenwirkungen bilden, bezieht sich der für ionisierende Strahlungen geltende Dosisbegriff auf die Energiedeposition in Materie durch Ionisation und Anregung. Die Energiedosis ist definiert als die in einem kleinen Volumenelement auf die Materie übertragene Energie, dividiert durch die Masse dieses Volumenelementes. Die verwendete Dosiseinheit ist das Gray (Gy), es entspricht einer Energieabsorption von einem Joule pro Kilogramm, z. B. einem Kilogramm Gewebe. Früher wurde für die Energiedosis das Rad (rd) als Dosiseinheit benutzt; 1 Gy ist gleich 100 rd. Zur quantitativen Dosisangabe bei strahlenbiologischen Dosiswirkungsbeziehungen dient die Energiedosis.

Schon relativ frühzeitig wurde allerdings erkannt, daß das Ausmaß einer biologischen Strahlenwirkung nicht alleine von der Energiedosis abhängt. Beim Vergleich verschiedener Strahlenarten miteinander zeigte sich, daß ionisierende Strahlen mit hohem LET (dicht ionisierende Strahlen, z. B. Alphateilchen) wesentlich wirksamer sein können als ionisierende Strahlen mit niedrigem LET (locker ionisierende Strahlen, z. B. Beta- und Gammastrahlung) bei gleicher Energiedosis. Dies gilt für die einzelnen biologischen Effekte in unterschiedlichem Maße. Für die Abschätzung von Strahlenrisiken, für Grenzwertfestlegungen und für Strahlenschutzmessungen erschien es daher notwendig, neben der Energiedosis auch die Strahlenqualität, d. h. die Strahlenart und -energie, zu berücksichtigen. Der lineare Energietransfer gilt vereinbarungsgemäß als physikalische Kenngröße der Strahlenqualität. Er kennzeichnet die vom Dosisbegriff nicht erfaßte Konzentration der auf die Materie übertragenen Energie längs der Teilchenbahnen. Aus diesen Gründen ist neben der Energiedosis D die Äquivalentdosis H für Strahlenschutzzwecke eingeführt worden. Die Äquivalentdosis ergibt sich aus der gemessenen oder berechneten Energiedosis durch Multiplikation mit einem von der Strahlenqualität abhängigen Bewertungsfaktor Q.

$$H = Q \cdot D$$

Der Bewertungsfaktor Q berücksichtigt die Unterschiede des biologischen Risikos bei den verschiedenen Strahlenqualitäten.

Zur Festlegung der Bewertungsfaktoren für die einzelnen Strahlenqualitäten sind experimentelle biologische Daten und klinische Erfahrungen zusammengefaßt worden. Um einen exakten Vergleich der biologischen Wirkungen bei verschiedenen Strahlenqualitäten vorzunehmen, wird zunächst die relative biologische Wirksamkeit (RBW) bestimmt. Die RBW ist definiert als der Quotient aus der Energiedosis einer Referenzstrahlung (D_{Ref}) und der Energiedosis der zu untersuchenden Strahlenqualität (D_{Test}), wobei in den Quotienten diejenigen Strahlendosen eingesetzt werden, die das gleiche Ausmaß der untersuchten biologischen Wirkung herbeiführen.

$$RBW = \frac{D_{Ref}}{D_{Test}} \text{ (bei gleicher biologischer Wirkung)}$$

Die Untersuchung der relativen biologischen Wirksamkeit hat ergeben, daß die resultierenden RBW-Werte nicht nur von der Strahlenqualität abhängig sind, sondern auch von dem gemessenen biologischen Endpunkt (z. B. Zelltod, Tumorbildung usw.), sowie von der Strahlendosis und anderen Faktoren. Ein biologisch exakt gemessener RBW-Wert gilt daher nur für sehr gut definierte experimentelle Bedingungen. Unter verschiedenen Bedingungen können bei gegebener Strahlenqualität auch unterschiedliche RBW-Werte resultieren.

Für den praktischen Strahlenschutz sind aus diesen Gründen die gemessenen RBW-Werte nicht unmittelbar verwendbar, sondern man hat auf der Grundlage der experimentellen RBW-Werte für die einzelnen Strahlenqualitäten Bewertungsfaktoren Q zur Ermitt-

lung der Äquivalentdosis festgelegt. Sie beziehen sich ebenso wie die RBW-Werte auf harte Röntgenstrahlung als Referenzstrahlung. Die Zahlenwerte der Bewertungsfaktoren orientieren sich aus Sicherheitsgründen am oberen Wertebereich der experimentell erhaltenen RBW-Werte für die jeweilige Strahlenqualität. Nach der Strahlenschutzverordnung gilt für die Berechnung der Äquivalentdosis der in Anlage VII der Verordnung angegebene LET-abhängige Bewertungsfaktor Q (L), der je nach Strahlenqualität Werte zwischen 1 und 20 besitzt. Ist das LET-Spektrum nicht genau bekannt, so darf näherungsweise der Bewertungsfaktor 1 für Beta- und Gammastrahlung, der Bewertungsfaktor 10 für Neutronen und der Bewertungsfaktor 20 für Alphateilchen verwendet werden.

Die Einheit für die Äquivalentdosis ist heute das Sievert (Sv), früher wurde die Äquivalentdosis in Rem (rem) angegeben. Es gilt 1 Sv = 100 rem. Beispiel: D = 0,1 mGy; Q = 20; H = 2 mSv.

2. Äußere und innere Bestrahlung

Bei einer Bestrahlung von außen (die Strahlenquelle befindet sich außerhalb des Organismus, externe Bestrahlung) ist die Eindringtiefe der verschiedenen Strahlenqualitäten in das menschliche Gewebe sehr unterschiedlich. Gammastrahlung hat wie Röntgen-Strahlung die Fähigkeit, den gesamten Körper zu durchdringen und ihn mit geschwächter Intensität wieder zu verlassen, während Alpha- und Betateilchen relativ zu den Körperdimensionen nur eine geringe Eindringtiefe besitzen. Bei Alphastrahlung ist die Eindringtiefe so gering, daß nur die äußere Zellschicht der Haut betroffen ist. Die Keimschicht der Haut (stratum germativum), in der die Zellerneuerung stattfindet, liegt bei äußerer Alphabestrahlung bereits außerhalb der Reichweite der Alphateilchen. Bei Betastrahlung liegt die Eindringtiefe im Gewebe im Bereich von einigen Millimetern, so daß es bei einer Bestrahlung von außen bei relativ hohen Strahlendosen beispielsweise zu Hautschäden und Schäden der Augenlinse, aber nicht zu Schäden in tiefer gelegenen Geweben kommen kann. Bei niedrigen Strahlendosen ist die Bestrahlung durch Alpha- und Betastrahlung von außen für das Strahlenrisiko ohne Bedeutung. Radionuklide, bei deren Zerfall Alpha- bzw. Betastrahlung entsteht, sind jedoch dann für das Strahlenrisiko relevant, wenn sie mit der Nahrung, dem Trinkwasser oder durch Atmung dem Körper zugeführt werden und die Bestrahlung von innen erfolgt. Zur Bestimmung der Strahlendosis ist es bei einer Inkorporation der radioaktiven Stoffe notwendig, die Verteilung der Radionuklide und ihre Verweildauer im Organismus und in einzelnen Organen sowie Geweben genau zu kennen. Die Biokinetik, die sich vor allem aus dem Stoffwechselverhalten und anderen biologischen Vorgängen ergibt, muß bei der Dosisabschätzung für die Strahlenexposition von innen berücksichtigt werden. Neben zahlreichen, u. a. altersabhängigen biokinetischen Parametern gehen in die Dosisermittlung die physikalischen Eigenschaften der Strahlung und die physikalischen Halbwertszeiten der Radionuklide ein. Radionuklide mit einer langen physikalischen Halbwertszeit und einer zusätzlich langen Verweildauer (lange biologische Halbwertszeit) im Organismus tragen nach einer Inkorporation über eine entsprechend lange Zeit zur Strahlendosis bei. Daher wird bei der Berechnung der Strahlendosis nach Inkorporation derartiger Radionuklide die 50-Jahre-Folgedosis (70-Jahre-Folgedosis bei Kindern) ermittelt. Das bedeutet, daß bei der Festlegung des Dosisfaktors die Dosisleistung (Strahlendosis in einem Zeitintervall, dividiert durch dieses Zeitintervall) über die auf die Inkorporation folgenden 50 Jahre (bzw. 70 Jahre) integriert (aufsummiert) wird. Unter diesen Prämissen sind Dosisfaktoren für die verschiedenen Inkorporationswege (z. B. Ingestion und Inhalation) sowie für verschiedene chemische Formen der inkorporierten Radionuklide (z. B. löslich und unlöslich) abgeschätzt worden.

Die Aktivität einer radioaktiven Substanz ist die Anzahl der spontanen Kernumwandlungen in einem kurzen Zeitintervall, dividiert durch dieses Zeitintervall. Sie wird in Becquerel (Bq) angegeben. Die Anzahl der Becquerel bezeichnet die Anzahl der spontanen Kernumwandlungen je Sekunde. Die frühere Einheit ist das Curie (Ci). 1 Ci ist gleich $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Bq. Kenngröße für die Exposition von innen ist der Dosisfaktor, d. h. der Quotient aus der in einem bestimmten Gewebe oder Organ erzeugten Äquivalentdosis und der dem Körper zugeführten Aktivität eines bestimmten Radionuklids, gemessen in Sievert pro Becquerel (Sv/Bq). Durch Multiplikation des Dosisfaktors mit der Aktivität des aufgenommenen Radionuklids wird die Äquivalentdosis errechnet.

Die Konzentration der Ionisations- und Anregungsprozesse ionisierender Teilchen auf den Nahbereich der Teilchenbahnen (s. Kennzeichnung der Strahlenqualität durch den linearen Energietransfer) hat bei mikroskopischer Betrachtungsweise auch die Bedeutung einer von Zelle zu Zelle statistisch variierenden Anzahl der Teilchendurchgänge; die Energiedosis gibt nur den räumlichen Mittelwert der massebezogenen Energiedeposition an. Bei einer Energiedosis von 10 mGy erfährt z. B. nur einer unter ca. 40 Zellkernen des Querschnitts 60 μm^2 den Durchgang eines Alphateilchens der Anfangsenergie 5 MeV. Erst bei wesentlich höheren Dosen – für Alphateilchen bei etwa 50 mGy – kommt es ebensooft vor, daß ein Zellkern von einem bzw. von zwei oder mehr Alphateilchen getroffen wird, aber auch bei dieser Dosis ereignet sich in etwa 30 % aller Zellkerne kein Teilchendurchgang. Bei locker ionisierender Strahlung erfahren in diesem Dosisbereich bereits alle Zellkerne eine annähernd gleiche Anzahl von Teilchendurchgängen.

Mit abnehmender Dosis kommt man also in einen Bereich, in dem nicht mehr alle, sondern nur noch einzelne Zellen und Zellkerne (Durchmesser des Kernes einer menschlichen Zelle: etwa 8 µm) von einem Teilchendurchgang betroffen werden. Die Zahl der dann noch getroffenen Zellkerne nimmt bei weiterer Erniedrigung der Strahlendosis proportional zu dieser ab. Der Dosisbereich, in dem diese inhomogene Verteilung der Teilchendurchgänge aufzutreten beginnt, ist von der Strahlenqualität abhängig. Bei

Strahlung mit niedrigem LET liegt er tiefer als bei Strahlung mit hohem LET. So tritt dieses Phänomen bei Röntgen- und Gammastrahlung im Dosisbereich unterhalb etwa 3 mGy und bei 14 MeV Neutronen unterhalb etwa 50 mGy auf. Bei Alphastrahlung (z. B. nach Zerfall von Plutonium-239) erstreckt sich der Bereich der vereinzelten Teilchendurchgänge zu noch höheren Dosen. Bei inkorporierten Radionukliden, die an Partikel (Aerosole) gebunden sind oder in Zellen durch Phagozytose akkumuliert sind, kann in der unmittelbaren Nachbarschaft eine zusätzliche Inhomogenität der mikroskopischen Dosisverteilung auftreten. Diese Bedingungen sind bei Radionukliden, die bei ihrem Zerfall Alphateilchen emittieren, von besonderer Relevanz (hot particles).

3. Stochastische und deterministische Strahlenwirkung

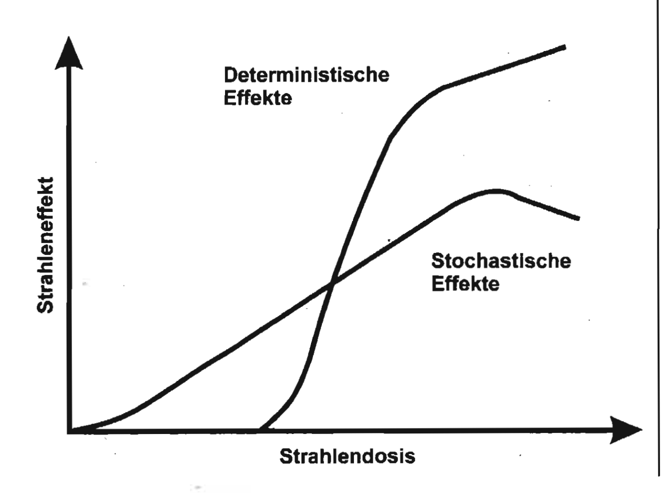
Im Strahlenschutz werden stochastische und deterministische Strahlenwirkungen unterschieden. Beide Kategorien von Schadenstypen haben grundsätzlich verschiedene Dosiswirkungsbeziehungen. Bei den deterministischen Strahlenwirkungen muß zunächst eine Schwellendosis überschritten werden, bevor die beschriebenen Effekte induziert werden können (Abbildung A-1). Oberhalb der Schwellendosis steigt die Zahl der Defekte und der Schweregrad des Effektes mit steigender Dosis an. Der Entwicklung dieser Strahlenschäden liegt ein multizellulärer Mechanismus zugrunde. Es müssen viele Zellen geschädigt werden, damit es zu einer Manifestation derartiger Effekte kommt. Zu diesen Strahlenwirkungen zählen alle akuten Strahleneffekte, die Linsentrübung (Katarakt) und die Entwicklung von fibrotischen Prozessen in verschiedenen Geweben.

Bei einem zweiten Typ von Strahlenwirkungen, den stochastischen Effekten, wird davon ausgegangen, daß keine Schwellendosis besteht und daß die Wahrscheinlichkeit des Eintretens mit steigender Strahlendosis zunimmt. Auch bei kleinen Strahlendosen können also noch Wirkungen auftreten, wenn auch mit geringerer Wahrscheinlichkeit als bei höheren Dosen (Abbildung A-1). Für den Strahlenschutz sind die stochastischen Strahlenwirkungen daher von entscheidender Bedeutung. Ihr Auftreten unterliegt einer Zufallsverteilung, d. h. in einem Kollektiv gleich exponierter Personen werden sie mit einer durch den statistischen Erwartungswert nur angenähert voraussagbaren Häufigkeit beobachtet. Als „Risiko" wird im Strahlenschutz die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer stochastischen Strahlenwirkung bei der Einzelperson bezeichnet; den Quotienten Risiko/Äquivalentdosis nennt man „Risikokoeffizient".

Zu dieser Kategorie von Strahlenwirkungen zählen die Induktion von vererbbaren Defekten und von malignen Erkrankungen (Leukämie und Krebs). Man geht davon aus, daß es sich hier um unizelluläre Prozesse handelt. Bei den vererbbaren Defekten muß nur eine Keimzelle geschädigt werden, damit es nach deren Beteiligung an einer erfolgreichen Befruchtung zu einer Mutation in der Folgegeneration kommt. Bei der Induktion von Leukämie und Krebs wird angenommen, daß die maligne Transformation einer Zelle ausreichend ist, um eine derartige Erkrankung zu verursachen. Man geht also davon aus, daß Leukämie oder Krebs mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit durch eine einzige maligne transformierte Zelle hervorgerufen werden kann (monoklonaler Ursprung).

Abbildung A-1

Schematische Darstellung der Dosiswirkungsbeziehungen für stochastische und deterministische Effekte



4. Genetisch vererbbare Deffekte

Beim Menschen sind bisher keine genetischen Mutationen durch ionisierende Strahlen beobachtet worden, die zu einer quantitativen Abschätzung des genetischen Strahlenrisikos führen können. Auch bei Untersuchungen von Nachkommen der Überlebenden nach den Atombombenabwürfen in Hiroshima und Nagasaki sind bisher derartige Effekte nicht statistisch signifikant nachgewiesen worden. Man hat in diesem Zusammenhang bei der Untersuchung von mehr als 70000 Kindern, deren Väter oder Mütter bzw. beide Elternteile bei den Atombombenabwürfen in Hiroshima und Nagasaki exponiert worden sind, lediglich einen angedeuteten, statistisch nicht ausreichend gesicherten Trend zu erhöhten Raten an genetischen Mutationen festgestellt.

Die quantitative Abschätzung des Strahlenrisikos beruht daher auf tierexperimentellen Untersuchungen, die vor allem an Mäusen durchgeführt worden sind. Bei diesen Untersuchungen werden lokale Bestrahlungen der Gonaden vorgenommen und nach Möglichkeit leicht diagnostizierbare Merkmale wie die Fellfarbe, Form der Ohren, Form des Schwanzes, die Bildung von Katarakten usw. analysiert. Diesen Veränderungen liegen dominante, aber auch rezessive Mutationen zugrunde. Es werden sehr häufig lineare Dosiswirkungsbeziehungen für diese Effekte ermittelt, so daß aus der Steigung derartiger Dosiswirkungsbeziehungen die Mutationsrate pro Gray bzw. Sievert errechnet werden kann.

Die Versuchsergebnisse an Mäusen sind in überwiegendem Maße nach Strahlendosen im Bereich von 1 Gy und höher gewonnen worden, im allgemeinen hat eine Bestrahlung mit hoher Dosisleistung (z. B. 0,1 Gy pro Tag) stattgefunden. Um diese Versuchsergebnisse für die Abschätzung des Strahlenrisikos beim Menschen verwenden zu können, sind zwei Annahmen notwendig:

1. Bei locker ionisierenden Strahlen und relativ kleinen Dosen und Dosisleistungen besteht zwischen Dosis und Zahl der induzierten Mutationen eine lineare Dosiswirkungsbeziehung ohne Schwellenwert. Diese Form der Dosiswirkungsbeziehung ist bereits bei den stochastischen Strahlenwirkungen besprochen worden.
2. Die Mutationshäufigkeit pro Locus in Keimzellen des Menschen und der Maus ist nach identischen Bestrahlungsbedingungen und Strahlendosen etwa gleich groß.

Aufgrund der vorhandenen Erkenntnisse über den Wirkungsmechanismus ionisierender Strahlung und der Entstehung der Mutationen in Keimzellen, die zu vererbbaren Defekten führen, steht es in der wissenschaftlichen Diskussion heute weitgehend außer Zweifel, daß eine Dosiswirkungsbeziehung ohne Schwellendosis existiert und damit auch bei niedrigen Dosen und niedriger Dosisleistung mit entsprechend geringer Wahrscheinlichkeit Mutationen auftreten können. Es ist gezeigt worden, daß bei einer chronischen Bestrahlung über 300 Tage mit Gammastrahlen und einer Dosisleistung von 0,01 Gy pro Tag, ebenso wie nach einer fraktionierten Bestrahlung von 0,1 Gy pro Tag über 60 Tage, Mutationen bei Mäusen induziert werden können.

5. Induktion von Leukämie und Krebs

Während für die Abschätzung des genetischen Strahlenrisikos keine ausreichenden Erfahrungen beim Menschen vorliegen, kann man für die Abschätzung des Leukämie- und Krebsrisikos auf eine Vielzahl von Daten aus epidemiologischen Untersuchungen beim Menschen zurückgreifen. In Betracht kommen hierfür vor allem Untersuchungen an

- Überlebenden nach den Atombombenabwürfen in Hiroshima und Nagasaki
- Personen nach beruflichen Strahlenexpositionen
- Patienten mit medizinischen Strahlenexpositionen.

Da eine strahlenbedingte maligne Erkrankung sich nicht von einer „spontanen" malignen Erkrankung unterscheidet, können Leukämie oder Krebs im Einzelfall nicht allein aufgrund ihrer Erscheinungsform oder ihres klinischen Verlaufes als strahlenbedingte Erkrankung erkannt werden. Nur epidemiologisch-statistische Untersuchungen können dazu beitragen, quantitative Daten für die Risikoabschätzung beim Menschen zu erhalten. Strahlenexponierte Personengruppen müssen dabei nicht-exponierten Personengruppen gegenübergestellt werden. Dann kann erkannt werden, ob und in welchem Ausmaß die Raten an Leukämie und Krebs nach Bestrahlung in der exponierten Gruppe erhöht sind. Auch hier ist auf individueller Basis eine qualitative Unterscheidung hinsichtlich der Frage, ob der Krebs strahlenbedingt ist oder nicht, nicht möglich. Es kann lediglich die Wahrscheinlichkeit ermittelt werden, mit der eine individuelle Krebserkrankung durch die vorausgegangene Bestrahlung verursacht ist.

Erschwert werden diese Untersuchungen dadurch, daß die Erkrankungen mit einer erheblichen Latenzzeit (5 bis 10 Jahre bei Leukämie und mehrere Jahrzehnte bei Krebs) auftreten können und damit analytisch, z. B. hinsichtlich der Anamnese, schwerer zugänglich werden. Da Leukämien mit einer relativ kurzen Latenzzeit nach einer Bestrahlung und mit einem besonders hohen relativen Risiko beobachtet werden, liegen für diese Erkrankungen verhältnismäßig umfangreiche Daten vor.

Es wird beobachtet, daß vor allem myeloische Leukämien (akute und chronische Erscheinungsformen), aber auch akute lymphatische Leukämien, nach Bestrahlung vermehrt auftreten. Dagegen sind chronisch-lymphatische Leukämien nicht erhöht beobachtet worden. Die Untersuchungen an den Überlebenden in Hiroshima und Nagasaki, aber auch bei Patientengruppen, wie z. B. nach Bestrahlung wegen Morbus Bechterew, ergeben für die Gesamtpopulation, daß nach Strahlendosen im Bereich von 0,2 bis 0,5 Sv und höher mit einer signifikanten Erhöhung der Leukämierate zu rechnen ist. Strahlendosen, die unter diesem Bereich liegen, haben bei epidemiologischen Untersuchungen von Gruppen der Gesamtbevölkerung nicht zu einer statistisch signifikant erhöhten Leukämierate geführt.

Nach unserem heutigen Verständnis bedeutet dieses nicht, daß geringere Strahlendosen als 0,2 Sv keine Leukämien hervorrufen können. Die Zahl der Fälle wird jedoch dann so klein, daß andere Faktoren wie Lebensgewohnheiten, genetische Prädispositionen usw., die das Krebs- und Leukämierisiko beeinflussen, mit ihrer Variabilität das strahlenbedingte Risiko überlagern, so daß letzteres sich aus den Schwankungen der „spontanen" Leukämie- und Krebsrate nicht mehr heraushebt. Bei den Überlebenden in Hiroshima und Nagasaki ist das Leukämierisiko nach einer Strahlendosis von 4 Gy etwa um den Faktor 15 erhöht. Dagegen ist das Risiko für alle Krebsformen außer Leukämien bei der gleichen Strahlendosis nur etwa um den Faktor 2 angestiegen. Dieser Zuwachsfaktor wird als „relatives Risiko" bezeichnet; die „spontanen" Raten an Leukämie und Krebs (Raten ohne Bestrahlung) entsprechen einem relativen Risiko von 1,0.

Neben dem Knochenmark (Induktion von Leukämie) und dem Brustgewebe zählen auch Lunge und die Epithelien der Bronchien zu den strahlenempfindlichen Geweben hinsichtlich der Induktion von Tumoren. Eine erhöhte Rate an Lungentumoren ist bei Bergarbeitern beobachtet worden, die in Bergwerken mit hohem Radongehalt tätig gewesen sind. Durch den radioaktiven Zerfall dieses mit der Atemluft eingeatmeten Edelgases und vor allem seiner

ebenfalls eingeatmeten, an Schwebstoffen angelagerten radioaktiven Zerfallsprodukte kommt es zu einer lokalen Strahlenexposition der Bronchial- und Lungenepithelien. Hierbei wird die Exposition in überwiegendem Maße durch Alphastrahlung hervorgerufen.

Die bisher für die Einschätzung der Strahlenwirkung des Radons und seiner Zerfallsprodukte benutzten Dosiskoeffizienten beruhen sowohl auf epidemiologischen Studien bei Bergarbeitern als auch auf dosimetrischen Modellen. Die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) hat in der 1993 erschienenen Publikation Nr. 65 über den Schutz vor Radon-222 in Wohnungen und am Arbeitsplatz vorgeschlagen, für die Risikoabschätzung nur noch die Ergebnisse der epidemiologischen Bergarbeiterstudien zu verwenden. Anstelle der bisherigen Dosiskoeffizienten wird deshalb von der ICRP eine neue Dosiskonvention vorgeschlagen, bei deren Anwendung sich die Strahlenexposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte für die Bevölkerung auf etwa 60 % der angegebenen Werte reduziert. Zur Ermittlung der gesundheitlichen Wirkung des Radon wurde in der Bundesrepublik Deutschland eine Studie durchgeführt, deren Auswertung Ende 1998 vorliegen wird.

Den Hauptanteil der Strahlenexposition liefern die kurzlebigen Zerfallsprodukte des Radon-222 (Halbwertszeit 3,8 Tage). Das Radon-222 ist ein Zerfallprodukt des Radiums-226 und gelangt vor allem durch Diffusion aus dem Erdboden in die bodennahe Luft. Das eingeatmete Radon und seine Zerfallsprodukte werden im Atemtrakt und in der Lunge unterschiedlich stark abgeschieden bzw. wieder ausgeatmet. Infolge der kurzen Halbwertszeit bewirken die inhomogen abgeschiedenen Radonzerfallsprodukte unter Abgabe der biologisch besonders wirksamen Alphastrahlung im wesentlichen eine Exposition des Atemtraktes. Die mittlere Äquivalentdosis der strahlenempfindlichen Zellen der oberen Bronchien ist etwa fünf- bis zehnmal höher als diejenige im Alveolarbereich. Die durch das Edelgas Radon selbst verursachte Strahlenexposition ist um mehr als eine Größenordnung niedriger und wird teils durch das im ganzen Körper gelöst verteilte Radon, teils durch das in der Atemluft befindliche Radon verursacht.

Auch bei der Induktion von Knochentumoren liegen Erfahrungen nach Exposition durch Alphastrahlen vor. In diesem Falle sind Untersuchungen nach Behandlung mit Radiumpräparaten durchgeführt worden. Das Radium wurde injiziert und hat sich vor allem im Knochengewebe abgelagert.

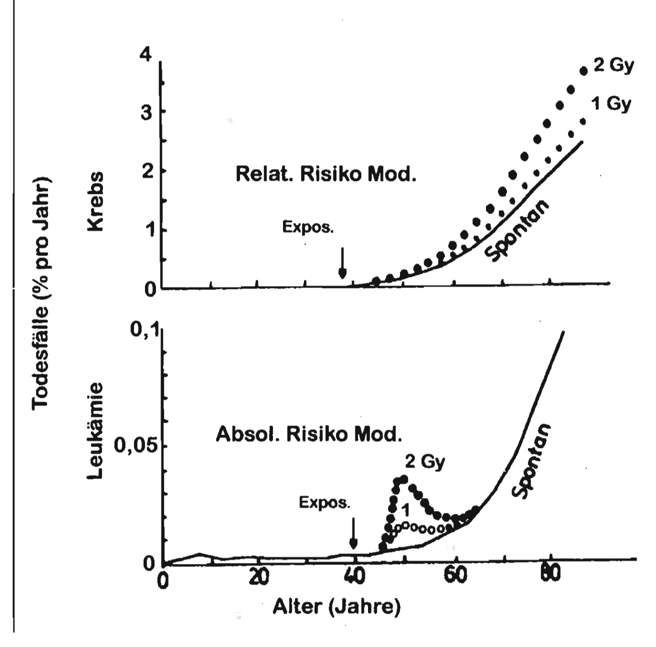
6. Risikoabschätzung

Für die Risikoabschätzung wird außer bei Leukämie und Knochentumoren von einem sogenannten relativen Risikomodell ausgegangen. Für Leukämien und Knochentumoren dagegen wird das absolute Risikomodell zur Risikoabschätzung eingesetzt. Bei dem letzteren Risikomodell geht man davon aus, daß nach einer Latenzzeit die Rate an Erkrankungen über der „spontanen" Rate liegt, nach einer weiteren Periode aber keine zusätzlichen strahlenbedingten Erkrankungen auftreten (Abbildung A-2). Offensichtlich haben sich dann alle strahlenbedingten Erkrankungen manifestiert. Beim relativen Risikomodell liegt die Rate an malignen Erkrankungen in der bestrahlten Personengruppe ebenfalls nach einer Latenzzeit über der „spontanen" Rate, aber diese Erhöhung bleibt bis zum Lebensende erhalten. Das „relative Risiko", d.h. die relative Zunahme der strahlenbedingten Rate im Vergleich zur „spontanen" Rate, wird dabei als über die Lebenszeit konstant angenommen (Abbildung A-2). Das bedeutet, daß auch die strahlenbedingten Tumoren vorwiegend erst in einem Alter beobachtet werden, in dem die „spontanen" Tumoren ohne Bestrahlung manifest werden. Die Abschätzung des strahlenbedingten Krebsrisikos auf der Basis des relativen Risikomodells stellt eine auf die Gesamtlebenszeit bezogene Risikoabschätzung dar.

Die vielfältigen epidemiologischen Untersuchungen haben ergeben, daß eine statistisch signifikante und damit zahlenmäßig bestimmbare Erhöhung maligner Erkrankungen im allgemeinen erst im Dosisbereich von einigen Zehntel bis einem Sievert eintritt. In niedrigeren Dosisbereichen, die für die berufliche Strahlenexposition (einige mSv/a bis einige 10 mSv/a) und vor allem für Expositionen der Bevölkerung etwa in der Umgebung kerntechnischer Anlagen (einige 10 µSv/a) von Bedeutung sind, müssen daher die Strahlenrisiken durch rechnerische Extrapolation, ausgehend von diesen höheren Strahlendosen, ermittelt werden. Ferner sind die statistisch signifikanten epidemiologischen Daten der Leukämie- und Krebserhöhung nicht nur nach Exposition mit hohen Strahlendosen, sondern häufig auch nach Bestrahlung mit hoher Dosisleistung erhalten worden. Da die Exposition am Arbeitsplatz und in noch stärkerem Maße

Abbildung A-2

Schematische Darstellung der Mortalität durch Krebs und Leukämie



in der Umwelt bei niedriger Dosisleistung stattfindet, ergeben sich hier zusätzliche Schwierigkeiten bei der Extrapolation zur Ermittlung der Risikokoeffizienten.

Die durchgezogenen Kurven geben die „spontane" Mortalität durch diese Erkrankungen an. Die gepunkteten Kurven geben die Mortalität nach Strahlenexposition entsprechend dem „Relativen Risikomodell" und dem „Absoluten Risikomodell" an.

Für die Extrapolation wird angenommen, daß eine Schwellendosis nicht existiert und daß die Dosiswirkungsbeziehung für die Eintrittswahrscheinlichkeit stochastischer Effekte auch in diesem niedrigen Dosisbereich linear mit der Strahlendosis verläuft. Aufgrund unserer wissenschaftlichen Kenntnisse ist eine solche Annahme für den Strahlenschutz sinnvoll, der Beweis dafür steht aber noch aus. Um der niedrigen Dosisleistung im niedrigen Dosisbereich Rechnung zu tragen, werden für den Risikokoeffizienten häufig Reduktionsfaktoren von 2 eingesetzt. Für die Induktion von Leukämie und Krebs hat sich in einer Reihe von Fällen ergeben, daß sowohl eine lineare als auch eine linear-quadratische Dosiswirkungsbeziehung angenommen werden kann. Für die Zwecke des Strahlenschutzes wird jedoch häufig der Einfachheit halber, und um Unterschätzungen auszuschließen, eine lineare Dosiswirkungskurve für den Bereich bis zu den Grenzwerten der beruflichen Exposition zugrunde gelegt.

Unter dieser Annahme ist eine Risikoabschätzung durch Extrapolation, ausgehend von den Daten bei hohen Strahlendosen, zu geringen Strahlendosen hin möglich. Es ergeben sich dann Risikokoeffizienten, die im Bereich von 200 bis 1000 Todesfällen durch Leukämie und Krebs nach Ganzkörperexposition einer Million Menschen mit 10 mSv (1 rem) liegen (Risikokoeffizient: $2 \cdot 10^{-2}$ Sv^{-1} bis $1 \cdot 10^{-1}$ pro Sv). Bei Berücksichtigung dieses Bereiches des Risikokoeffizienten ergibt eine Strahlendosis von 10 mSv eine Erhöhung der Leukämie- und Krebstodesrate, die im Bereich von einem bis einigen Promille der „spontanen" Leukämie- und Krebstodesrate unserer Bevölkerung liegt. Die Exposition der Bevölkerung in der Umgebung kerntechnischer Anlagen der Bundesrepublik Deutschland liegt beim bestimmungsgemäßen Betrieb einschließlich von Auslegungsstörfällen im Bereich von einigen 10 µSv. Es müssen also Extrapolationen über mehrere Größenordnungen der Dosis (etwa um den Faktor 10^4) vorgenommen werden, um von dem Dosisbereich mit epidemiologisch ermittelten Daten in den Dosisbereich dieser Exposition zu kommen.

Die Breite des Schätzintervalls für den Risikokoeffizienten spiegelt die in den Abschätzungen liegende Ungenauigkeit nur bedingt wider. Sie ergibt sich u. a. daraus, daß die neueren Untersuchungen an den Überlebenden der Atombombenabwürfe in Japan zu höheren Risikofaktoren führen. Die höheren Risikofaktoren bei der japanischen Population ergeben sich aus drei Gründen:

1. Neue Rechnungen zur Dosimetrie nach den Atombombenexplosionen haben zu neuen Dosisabschätzungen geführt.
2. In den letzten Jahren sind neue Daten zu den Leukämie- und Krebsraten erhoben worden. Es sind vor allem neue Erkrankungen bzw. Todesfälle bei den im jungen Alter exponierten Personen beobachtet worden.
3. Diese Befunde haben zu dem Konzept des relativen Risikos geführt. Damit wird das Strahlenrisiko für die noch lebenden exponierten Personen in die Zukunft projiziert. Die noch zu erwartenden Krebstodesfälle werden mit Hilfe der Altersabhängigkeit des Krebsrisikos nicht exponierter Personen unter Annahme eines zeitlich konstanten strahlenbedingten relativen Risikos ermittelt.

Während der erste Umstand den Risikokoeffizienten nicht erheblich beeinflußt hat, tragen die Gründe 2 und 3 in erheblichem Maße zur Erhöhung bei. Der Risikokoeffizient liegt dann etwa um den Faktor 3 bis 5 höher als früher angenommen.

7. Effektive Dosis[1])

Für die Erfassung des Gesamtstrahlenrisikos bei kleinen Dosen ist die sogenannte effektive Dosis eingeführt worden. Sie enthält Bewertungsfaktoren zur Berücksichtigung des gesamten stochastischen Strahlenrisikos und bezieht infolgedessen sowohl die vererbbaren Defekte als auch die Induktion von Leukämie und Krebs ein. Aufgrund der unterschiedlichen Strahlenempfindlichkeiten in einzelnen Geweben und Organsystemen für die Induktion maligner Erkrankungen sind von der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) Bewertungsfaktoren (Wichtungsfaktoren) für die verschiedenen Gewebe und Organe festgelegt worden. Die Summe aller Wichtungsfaktoren beträgt 1,0. Zur Ermittlung der effektiven Dosis werden die Äquivalentdosen in den einzelnen Organen und Geweben mit den Wichtungsfaktoren multipliziert und die so erhaltenen Produkte addiert. Ein erheblicher Vorteil der effektiven Dosis liegt darin, daß das Strahlenrisiko auch bei einer inhomogenen Bestrahlung, z. B. einer selektiven Strahlenexposition einzelner Organe nach Inkorporation radioaktiver Stoffe, bewertet werden kann.

Kritisch eingewendet wird, daß die Wichtungsfaktoren auf das Mortalitätsrisiko und nicht auf das Morbiditätsrisiko durch Leukämie und Krebs abstellen. Für einzelne Organe, z. B. die Schilddrüse, bei denen die Therapie der betreffenden Tumoren gute Erfolge erzielt, würden die Wichtungsfaktoren für die Morbidität größer als für die Mortalität sein. Für Organe und Gewebe mit ungünstiger Therapieprognose der Tumoren wäre diese Situation umgekehrt. Allerdings würde auch bei Berücksichtigung des Morbiditätsrisikos definitionsgemäß die Summe aller Wichtungsfaktoren 1,0 betragen. Der Risikokoeffizient insgesamt (Morbiditätsrate pro Dosis) würde jedoch höher als bei der Berücksichtigung der Mortalitätsraten liegen. Orientiert man die Dosisgrenzwerte für beruflich strahlenexponierte Personen und das damit verbundene Strahlenrisiko am Risiko anderer Berufe, so

[1]) Gemäß ICRP-60 tritt anstelle des Begriffs „effektive Äquivalentdosis" der Begriff „effektive Dosis".

erhält man strengere Maßstäbe für die Dosisgrenzwerte, wenn man das Mortalitätsrisiko zugrunde legt.

Es wird ferner eingewendet, daß die Wichtungsfaktoren für einzelne Gewebe und Organe aufgrund neuerer epidemiologischer Daten verändert werden müssen. Da die Summe der Wichtungsfaktoren gleich 1,0 ist, ergibt sich bei einer homogenen Ganzkörperbestrahlung, daß die Ganzkörperdosis mit der effektiven Dosis identisch ist. Bei einer inhomogenen Bestrahlung, bei der einige Organe bzw. Gewebe besonders hoch belastet werden, schlagen dagegen diese hohen lokalen Bestrahlungen auf die effektive Dosis besonders durch. Dieses trifft u. a. auch für die natürliche Strahlenexposition zu, da in diesem Falle die Lunge und die Epithelien der Bronchien eine besonders hohe Strahlenexposition durch das Radon und seine radioaktiven Folgeprodukte erhalten. Die effektive Dosis wird heute anstelle der Ganzkörperdosis zur Angabe der Dosisgrenzwerte in Gesetzen, Verordnungen und Empfehlungen verwendet.

B. Erläuterung der benutzten Fachausdrücke

Aerosol	Gase mit festen oder flüssigen Schwebeteilchen
Aktivität	Anzahl der je Sekunde zerfallenden Atomkerne
Alphastrahler	Radionuklide, die Alphateilchen (Heliumatomkerne) aussenden
Anthropogen	durch den Menschen beeinflußt, verursacht
Äquivalentdosis	Produkt aus Energiedosis und einem u. a. von der Strahlenart abhängigen Bewertungsfaktor. Die Äquivalentdosis ist das Maß für die Wirkung einer ionisierenden Strahlung auf den Menschen
Becquerel	SI-Einheit der Aktivität. Die Aktivität von 1 Becquerel (Bq) liegt vor, wenn 1 Atomkern je Sekunde zerfällt. 1 Becquerel (Bq) = $2{,}7 \cdot 10^{-11}$ Curie
Betastrahlung	Teilchenstrahlung, die aus beim radioaktiven Zerfall von Atomkernen ausgesandten Elektronen besteht
Betasubmersion	Strahlenexposition durch Betastrahlung von radioaktiven Stoffen in der Atmosphäre
Computertomographie	Röntgenuntersuchung mit relativ hoher Strahlenexposition, aber sehr hoher Aussagekraft durch Darstellung als überlagerungsfreies Querschnittsbild
Dekontamination	Beseitigung oder Verminderung von radioaktiven Verunreinigungen
Deterministisch	Nicht-stochastisch; deterministische Strahlenschäden sind solche, bei denen die Schwere des Schadens mit der Dosis zunimmt und in der Regel ein Schwellenwert besteht, z. B. Hautrötung, Augenlinsentrübung (siehe auch stochastisch)
Digitale Subtraktionsangiographie	Röntgendarstellung von Blutgefäßen durch Einspritzen von Kontrastmittel. Durch die elektronische Subtraktion des Leerbilds von dem Kontrastbild wird eine bessere Darstellung der Blutgefäße bei gleichzeitiger Einsparung von Kontrastmittel erreicht
Dosis	Siehe Energiedosis und Äquivalentdosis
Effektive Dosis	Summe der gewichteten mittleren Äquivalentdosen in den einzelnen Organen und Geweben des Körpers. Der Wichtungsfaktor bestimmt sich aus den relativen Beiträgen der einzelnen Organe und Gewebe zum gesamten Strahlenrisiko des Menschen bei Ganzkörperbestrahlung
Energiedosis	Quotient aus der Energie, die durch ionisierende Strahlung auf das Material in einem Volumenelement übertragen wird, und der Masse in diesem Volumenelement
Fall-out	Aus der Atmosphäre auf die Erde in Form kleinster Teilchen abgelagertes radioaktives Material, das zum Beispiel bei Kernwaffenversuchen entstanden ist
Gammastrahlung	Energiereiche elektromagnetische Strahlung, die bei der radioaktiven Umwandlung von Atomkernen oder bei Kernreaktionen auftreten kann
Gammasubmersion	Strahlenexposition durch Gammastrahlung von radioaktiven Aerosolen und Gasen in der Atmosphäre
Ganzkörperdosis	Mittelwert der Äquivalentdosis über Kopf, Rumpf, Oberarme und Oberschenkel als Folge einer als homogen angesehenen Bestrahlung des ganzen Körpers
Gray	SI-Einheit der Energiedosis. 1 Gray (Gy) = 100 Rad
Ingestion	Allgemein: Nahrungsaufnahme Speziell: Aufnahme von radioaktiven Stoffen mit der Nahrung
Inhalation	Allgemein: Einatmung von Gasen Speziell: Aufnahme von radioaktiven Stoffen mit der Atemluft
Inkorporation	Allgemein: Aufnahme in den Körper Speziell: Aufnahme radioaktiver Stoffe in den menschlichen Körper

Interventionelle Radiologie	Therapeutischer Eingriff am Kranken, ohne eine Körperhöhle zu eröffnen, wobei das Behandlungsinstrument unter Durchleuchtungskontrolle über ein Blutgefäß oder einen anderen Zugang eingeführt wird
Ionisierende Strahlen	Elektromagnetische oder Teilchenstrahlen, welche die Bildung von Ionen bewirken können (z. B. Alphastrahlen, Betastrahlen, Gammastrahlen, Röntgenstrahlen)
Isotop	Atomart eines chemischen Elements mit gleichen chemischen Eigenschaften (gleicher Ordnungszahl), aber verschiedener Massenzahl
Kontamination	Verunreinigung mit radioaktiven Stoffen
Kosmische Strahlung	Sehr energiereiche Strahlung aus dem Weltraum
Median	Siehe Zentralwert
Nuklearmedizin	Anwendung radioaktiver Stoffe in der Medizin zu diagnostischen und therapeutischen Zwecken
Nuklid	Durch Protonenzahl (Ordnungszahl) und Massenzahl charakterisierte Atomart
Organdosis	Mittelwert der Äquivalentdosis über ein Organ
Ortsdosis	Äquivalentdosis für Weichteilgewebe, gemessen an einem bestimmten Ort
Ortsdosisleistung	In einem kurzen Zeitintervall erzeugte Ortsdosis, geteilt durch die Länge des Zeitintervalls
Radioaktive Stoffe	Stoffe, die Radionuklide enthalten
Radioaktivität	Eigenschaft bestimmter chemischer Elemente bzw. Nuklide, ohne äußere Einwirkung Teilchen- oder Gammastrahlung aus dem Atomkern auszusenden
Radiojod	Radioaktive Jodisotope
Radionuklide	Instabile Nuklide, die unter Aussendung von Strahlung in andere Nuklide zerfallen
Si-Einheiten	Einheiten des Internationalen Einheitensystems (SI). Die Anwendung der Einheiten im Strahlenschutzmeßwesen ist durch die Ausführungsverordnung zum Gesetz über Einheiten im Meßwesen vom 13. Dezember 1985 (BGBl. I S. 2272) geregelt
Sievert	SI-Einheit der Äquivalentdosis und der effektiven Dosis. 1 Sievert (Sv) = 100 Rem, 1 Sievert = 1 000 Millisievert = 1 000 000 Mikrosievert
Stochastisch	Zufallsbedingt; stochastische Strahlenschäden sind solche, bei denen die Wahrscheinlichkeit des Auftretens mit der Dosis variiert, nicht jedoch deren Schwere (siehe auch deterministisch)
Strahlenbelastung	Siehe Strahlenexposition
Strahlenexposition	Einwirkung ionisierender Strahlen auf den menschlichen Körper oder seine Teile
Terrestrische Strahlung	Strahlung der natürlich radioaktiven Stoffe, die überall auf der Erde vorhanden sind
Tritium	Radioaktives Isotop des Wasserstoffs, das Betastrahlung sehr niedriger Energie aussendet
Zentralwert	Mittelwert, unterhalb dessen ebensoviel kleinere Werte wie oberhalb größere Werte liegen

Druck: Bonner Universitäts-Buchdruckerei, 53113 Bonn
Vertrieb: Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft mbH, Postfach 13 20, 53003 Bonn, Telefon: 02 28/3 82 08 40, Telefax: 02 28/3 82 08 44
ISSN 0722-8333